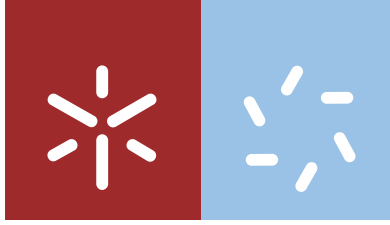


**Universidade do Minho**  
Escola de Ciências

Ana Cláudia Freitas Vieira

**Estudo das alterações da asfericidade**



**Universidade do Minho**  
Escola de Ciências

Ana Cláudia Freitas Vieira

## **Estudo das alterações da asfericidade**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado em Optometria Avançada

Trabalho realizado sob orientação do  
**Professor Doutor António Queirós Pereira**  
e do  
**Professor Doutor José Manuel González-Méijome**

*“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”*

*- Albert Einstein*

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e ao meu irmão, os grandes pilares da minha vida e da minha formação, que sempre me incentivaram e deram força para que este trabalho fosse mais uma conquista para mim e para eles, a quem quero deixar sempre orgulhosos e de quem sou uma filha e irmã muito orgulhosa!

Aos meus primos, em especial à minha prima Joana, por todo o apoio e incentivo e acima de tudo pela amizade!

Ao Filipe, por ficar orgulhoso de cada conquista minha.

Aos meus amigos e amigas de sempre, por todo o incentivo na elaboração deste trabalho e por me perdoarem as ausências em prol deste trabalho.

Aos meus colegas do MOA, àqueles que se tornaram amigos, que tão bem me receberam e com quem partilhei tantos momentos. Agradeço em especial à Ana Amorim, por toda a ajuda que me foi dando na elaboração desta dissertação e por me ajudar a olhar para tudo de uma forma mais científica.

À equipa da Óptica Queirós, por me permitirem complementar a minha formação com este mestrado, por me “dispensarem” para assistir às aulas e por me apoiarem com toda a logística para a recolha de dados. Um obrigada especial à Helena, colega e amiga que tantas vezes ficou com o meu trabalho para que eu pudesse dedicar-me à escrita desta dissertação.

Por último, mas não menos importante, agradeço ao meu orientador Professor Doutor António Queirós por todo o conhecimento que me transmitiu, por me incentivar a participar em eventos científicos que me permitiram crescer a nível académico e profissional. Agradeço-lhe toda a disponibilidade e apoio na elaboração deste trabalho, em especial na recolha e tratamento dos dados.

A todos agradeço e espero deixar orgulhosos!

## RESUMO

A asfericidade é uma característica morfológica muito importante da córnea humana pela sua relação com a qualidade ótica deste elemento ótico do olho. De facto, existe uma relação intrínseca entre a asfericidade e a aberração esférica da córnea, uma das aberrações de alta ordem que mais afetam a qualidade ótica do olho. Estima-se que para neutralizar a aberração esférica positiva média inerente ao olho humano para uma pupila de 5 a 6mm, será necessário que a córnea se aplane do centro para a periferia com uma asfericidade de aproximadamente -0,50 (valor adimensional). No entanto, segundo a literatura consultada, a asfericidade média da superfície anterior da córnea é próxima de -0,25 compensando apenas parte da dita aberração. Ainda varia com a distância ao centro tomada como referência o que normalmente não é considerado para referenciar os valores ou quando se comparam diferentes dispositivos. Considerando a importância que assume este parâmetro na avaliação da qualidade ótica do olho, na programação e avaliação pós-operatória de procedimentos cirúrgicos e na adaptação de lentes de contacto torna-se necessário realizar estudos populacionais que visem um melhor conhecimento do mesmo.

Objetivo: Pretendeu-se com este estudo validar um Autorrefratómetro/Keratometro na medida da asfericidade, avaliar o valor da asfericidade corneal numa população do norte de Portugal e analisar se a mesma sofre alterações num período entre 5 a 10 anos.

Métodos: Foram inicialmente analisados 107 olhos na comparação de valores de asfericidade e queratometrias num Autorrefratómetro/Keratometro-NIDEK\_ARK-700A e num vídeoqueratoscopio. Foram posteriormente analisados em termos retrospectivos os registos clínicos de pacientes submetidos a uma consulta de optometria. Registaram-se os valores da refração subjetiva e os valores centrais da queratometria corneal, bem como, 4 medidas periféricas (asfericidade) com um Autorrefratómetro/Keratometro-NIDEK\_ARK-700A. O estudo longitudinal da asfericidade foi feito a partir da comparação entre duas consultas (intervalo entre 5 a 10anos).

Resultados: Em termos clínicos a diferença encontrada para as queratometrias foi de  $0,03 \times 120^\circ // 0,02 \times 30^\circ$  e o valor de asfericidade que mais se aproxima entre os instrumentos foi para um diâmetro de 7mm. Na caracterização do valor da asfericidade, para uma população de 1484 olhos direitos (58,6% do sexo feminino) com uma idade média de  $40,2 \pm 18,4$  anos o valor médio da asfericidade foi de  $-0,24 \pm 0,12$ . Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas da asfericidade entre sexo ( $p=0,424$ ), idade ( $p=0,268$ ), grupos refrativos ( $p=0,107$ ) e orientação do astigmatismo corneal ( $p=0,559$ ). Numa análise longitudinal ( $5,9 \pm 1,3$  anos) de 190 olhos (62,1% do sexo feminino) os valores das diferenças

encontradas para o erro refrativo médio foram de  $+0,16-0,01 \times 136^\circ$  ( $p > 0,050$ ), para o valor da asfericidade de  $0,00 \pm 0,08$  ( $p > 0,813$ ) e da curvatura central média de  $0,06 \times 14^\circ / 0,06 \times 104^\circ$  ( $p > 0,084$ ). Observou-se uma forte correlação positiva e estatisticamente significativa ( $r = 0,790$ ;  $p < 0,050$ ), nas alterações da asfericidade.

Conclusões: Autorrefratómetro/Keratometro-NIDEK\_ARK-700A apresenta valores semelhantes ao topógrafo corneal MODI 2.0 (CSO, Itália). O valor médio encontrado para a asfericidade está de acordo com a média da população caucasiana. Na população em estudo e num período até 10 anos o valor da asfericidade não sofreu alterações significativas, indo ao encontro dos valores referidos na literatura, contribuindo assim para atenuar a aberração esférica do olho.

## ABSTRACT

Asphericity is a very important morphological characteristic of the human cornea due to its relation with the optical quality of this optical element of the eye. In fact, there is an intrinsic relationship between asphericity and the corneal spherical aberration, one of the high order aberrations most affecting the optical quality of the eye. It is estimated that to neutralize the mean positive spherical aberration inherent to the human eye for a pupil of 5 to 6 mm, it would be necessary a flattening of the cornea from the center to the periphery with an asphericity of about -0.50 (dimensionless value). However, according to the literature, the mean asphericity of the anterior surface of the cornea is about -0.25 which only compensates part of this aberration. Asphericity varies with the distance to the center (reference value) which is not usually considered to refer the values or when comparing different devices. Considering the importance of this parameter in the evaluation of the optical quality of the eye, it is required to carry out population studies aimed at a better knowledge of the corneal asphericity in the planning and postoperative evaluation of surgical procedures and in the adaptation of contact lenses.

Objectives: This study aimed to validate an Auto- refractometer / Keratometer in the measurement of corneal asphericity, to evaluate its value in a population from the north of Portugal and to analyze if the asphericity change within a 5-10 years period.

Methods: 107 eyes were initially analyzed in the comparison of asphericity and keratometry values with an Autorefractometer /Keratometer-NIDEK\_ARK-700A and with a videokeratoscope. The clinical records of patients undergoing optometry consultation were retrospectively analyzed. Subjective refraction and central keratometry values were recorded, as well as 4 peripheral measurements of the asphericity with an Autorefractometer / Keratometer-NIDEK\_ARK-700A. The longitudinal study of the asphericity was made from the comparison of the values of another posterior consultation (interval of 5 to 10 years).

Results: In clinical terms the difference found for keratometry was  $0.03 \times 120^\circ // 0.02 \times 30^\circ$  and the most consistent value between the two instruments was that relative to a diameter of 7mm. In the characterization of the asphericity value, for a population of 1484 right eyes (58.6% females) with a mean age of  $40.2 \pm 18.4$  years the mean value of asphericity was  $-0.24 \pm 0.12$ . No statistically significant differences were found in the asphericity between sex ( $p = 0.424$ ), age ( $p = 0.268$ ), refractive groups ( $p = 0.107$ ) and orientation of

corneal astigmatism ( $p = 0.559$ ). In a longitudinal analysis ( $5.9 \pm 1.3$  years) of 190 eyes (62.1% of females), the differences found for the mean refractive error were  $\pm 0.16-0.01 \times 10^{-3}$ ° ( $p > 0.050$ ), for the asphericity were  $0.00 \pm 0.08$  ( $p > 0.813$ ) and for the mean central curvature was  $0.06 \times 10^{-4}$ ° /  $0.06 \times 10^{-4}$ ° ( $p > 0.084$ ). There was a strong positive and statistically significant correlation ( $r = 0.790$ ,  $p < 0.050$ ), in the asphericity changes.

Conclusions: Autorefractometer/Keratometer-NIDEK\_ARK-700A shows similar values to the corneal topographer MODI 2.0 (CSO, Italy). The mean value found for asphericity is in agreement with the average for Caucasian population. In the population under study and in a period of up to 10 years the value of asphericity did not change significantly, matching the values reported in literature, thus contributing to attenuate the spherical aberration of the eye.



**ÍNDICE**

<b>RESUMO .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABBREVIATURAS E ACRÓNIMOS .....</b>	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>xv</b>
<b>1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1 Córnea.....</b>	<b>16</b>
1.1.1 Caracterização macroscópica da córnea .....	17
1.1.2 Caracterização microscópica da córnea.....	17
<b>1.2 Topografia da córnea.....</b>	<b>19</b>
1.2.1 Descrição qualitativa .....	19
1.2.2 Descrição matemática .....	20
1.2.3 Instrumentos para a medição da superfície ocular .....	23
1.2.3.1 Queratometria.....	23
1.2.3.2 Queratoscopia.....	24
1.2.3.3 Topografia corneal assistida por computador .....	25
<b>1.3 Alterações na superfície corneal.....</b>	<b>25</b>
1.3.1 Idade e sexo.....	26
1.3.2 Erros refrativos .....	26
1.3.3 Queratocone .....	27
1.3.4 Ortoqueratologia e cirurgias refrativas .....	27
<b>2. HIPÓTESES E OBJETIVOS DO ESTUDO.....</b>	<b>29</b>
<b>2.1 Hipóteses.....</b>	<b>29</b>
<b>2.2 Objetivos.....</b>	<b>30</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 Desenho do estudo.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 Participantes e tamanho da amostra.....</b>	<b>31</b>
<b>3.3 Critérios de exclusão.....</b>	<b>32</b>
<b>3.4 Procedimento experimental .....</b>	<b>33</b>
3.4.1 Parâmetros estudados.....	33
3.4.2 Autorrefratómetro .....	33
3.4.3 Topografia corneal.....	34

3.5	Análise estatística.....	35
4.	RESULTADOS .....	37
4.1	Validação da medida da asfericidade com um autorrefratômetro-queratômetro 37	
4.1.1	Caracterização da amostra .....	37
4.1.2	Diferenças entre as medidas do autorefratômetro-queratômetro ARK700A e do Topógrafo MODI 2.0 .....	38
4.2	Valor da asfericidade – estudo transversal.....	41
4.2.1	Caracterização da amostra .....	41
4.2.2	Análise por gênero.....	41
4.2.3	Análise por idade.....	42
4.2.4	Análise por grupos refrativos .....	45
4.2.5	Análise por orientação do astigmatismo corneal.....	46
4.3	Estudo das alterações longitudinais da asfericidade.....	48
4.3.1	Caracterização da amostra .....	48
4.3.2	Descritivos gerais .....	48
5.	DISCUSSÃO.....	52
5.1	Validação da medida da asfericidade com o autorrefratômetro-queratômetro NIDEK ARK 700A.....	52
5.2	Análise transversal dos fatores que afetam a superfície corneal .....	54
5.3	Análise das alterações longitudinais da asfericidade .....	57
6.	CONCLUSÕES .....	60
7.	BIBLIOGRAFIA.....	61

## ABBREVIATURAS E ACRÓNIMOS

AR	Autorrefratómetro
ARK	Autorrefratómetro-queratómetro
Esf	Valor da esfera
C	Valor do cilindro
$\alpha$	Eixo do cilindro
cm	Centímetros
mm	Milímetros
$\mu\text{m}$	Micrómetros
D	Dioptrias
J0	Componente astigmática no meridiano horizontal e vertical
J45	Componente astigmática oblíqua
M	Equivalente esférico
n	Tamanho da amostra
p	Significância estatística
DP	Desvio padrão
RC	Raio de curvatura da superfície anterior da córnea
Kmédio	Curvatura corneal média
Kplano	Curvatura corneal do meridiano mais plano
Kcurvo	Curvatura corneal do meridiano mais curvo
Topogrf	Topógrafo corneal

Q	Asfericidade
e	Excentricidade
p	Fator de forma

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> - Caracterização Microscópica da Córnea[9].	17
<b>Figura 1.2</b> - Zonas da Córnea (Adaptado de Waring).	20
<b>Figura 1.3</b> - Secção cónica.[28]	21
<b>Figura 1.4</b> - Diferentes secções cónicas.[28]	22
<b>Figura 1.5</b> - Disco de Plácido [46]	24
<b>Figura 3.1</b> - Autorrefratómetro-Queratómetro NIDEK 700 A.	33
<b>Figura 3.2</b> - Esquema gráfico da obtenção dos valores da queratometria e topometria corneal com o ARK-700A. (a) Posicionamento do olho na medida central, antes da rotação, (b) posicionamento após a rotação do olho, e não alinhamento do aparelho, (c) posicionamento após a rotação do olho, e posterior alinhamento do aparelho para obtenção da leitura periférica. (adaptado de [89])	34
<b>Figura 3.3</b> - Topógrafo MODI 2.0 (CSO, Itália)	35
<b>Figura 4.1</b> - Gráficos de correlações dos valores obtidos entre a asfericidade do topógrafo corneal (diâmetros de 6, 6,5 e 7mm) e o autorrefratómetro-queratómetro.	39
<b>Figura 4.2</b> - Gráficos de Bland Altman na comparação dos valores obtidos entre: A) queratometria entre o topógrafo corneal e o autorrefratómetro-queratómetro para o Kmédio, Kplano e Kcurvo e B) a asfericidade entre o topógrafo corneal (diâmetros de 6, 6,5 e 7mm) e o autorrefratómetro-queratómetro. Nos gráficos são apresentados os limites de concordância de 95% das medidas (média da diferença $\pm$ 1,96 da diferença dos desvio padrão – traços vermelhos).	40
<b>Figura 4.3</b> - Frequência dos valores da asfericidade nos diferentes géneros (azul - 879 sujeitos do sexo masculino e verde - 614 sujeitos do sexo feminino)	42
<b>Figura 4.4</b> - Distribuição da amostra pelos vários grupos etários.	43
<b>Figura 4.5</b> – Média e desvio padrão do valor da asfericidade da superfície anterior da córnea nos grupos etários.	44

<b>Figura 4.6</b> – Gráfico de dispersão dos valores da asfericidade da superfície anterior da córnea com a idade. ....	45
<b>Figura 4.7</b> – Prevalência do astigmatismo corneal de acordo com a sua orientação.....	47
<b>Figura 4.8</b> – Correlação dos valores da asfericidade encontradas na consulta inicial e final (após $5,9 \pm 1,4$ anos). ....	49
<b>Figura 4.9</b> - Histograma das variações da asfericidade entre a consulta inicial e a final. ....	49
<b>Figura 4.10</b> - Gráfico das diferenças encontradas entre a consulta inicial e final para o valor da asfericidade em função da idade. ....	50
<b>Figura 4.11</b> - Gráfico das diferenças encontradas inter-sujeito, entre a consulta inicial e final para o valor da asfericidade em função da idade (nos casos onde os valores de asfericidade inicial e final são os mesmos apenas, na figura apenas é possível visualizar o último - laranja). ....	50
<b>Figura 4.12</b> - Gráfico das correlações da curvatura corneal central entre a consulta inicial e final. A) Valores do meridiano mais plano, B) valores do meridiano mais curvo e C) valores da média dos meridianos curvo e plano. ....	51

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 - Relação entre os diferentes descritores da topografia corneal.....	22
Tabela 1.2 - Valores de asfericidade média da superfície corneal anterior encontrados por diferentes autores. ....	23
Tabela 4.1 - Dados demográficos da amostra expressos em média±DP, máximo e mínimo. Os valores da asfericidade com o topógrafo (Q_Topogf) são relativos a zonas corneais de 6,0mm, 6,5mm e 7mm de diâmetro corneal.....	38
Tabela 4.2 - Diferenças e correlações dos componentes vetoriais da curvatura corneal e da asfericidade corneal, entre o ARK 700 e o topógrafo MODI 2.0 .....	39
Tabela 4.3 - Dados demográficos da amostra expressos em média±DP. O valor p refere-se à significância estatística das diferenças dos vários parâmetros entre géneros (feminino e masculino) .....	41
Tabela 4.4 - Dados demográficos da amostra distribuídos pelos diferentes grupos etários. Os parâmetros apresentados dizem respeito ao erro refrativo e à asfericidade e curvatura corneal obtidas através do ARK 700 .....	43
Tabela 4.5 - Distribuição dos parâmetros refrativos e corneais pelos diferentes grupos refrativos. Os valores refrativos referem-se à refração subjetiva e os parâmetros corneais referem-se aos valores obtidos com o ARK 700.....	45
Tabela 4.6 - Distribuição dos parâmetros refrativos e corneais pelos diferentes grupos refrativos. Os valores refrativos referem-se à refração subjetiva e os parâmetros corneais referem-se aos valores obtidos com o ARK 700.....	46
Tabela 4.7 - Parâmetros refrativos e corneais no estudo longitudinal da asfericidade. Os valores refrativos referem-se à refração subjetiva e os parâmetros corneais referem-se aos valores obtidos com o ARK 700.....	48

## 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é feita uma breve caracterização macroscópica e microscópica da córnea, a sua topografia e uma breve revisão sobre as diferentes secções cónicas e de que forma estas se relacionam com os descritores da topografia corneal. É posteriormente feita uma pequena revisão histórica sobre os instrumentos para a medição da superfície ocular, e por último, é feita uma abordagem à qualidade visual e de que forma é que alterações na asfericidade córnea podem provocar perdas de qualidade visual.

### 1.1 Córnea

É um tecido transparente, avascular e elástico, situado na parte anterior do globo ocular, estando a sua superfície anterior em contacto direto com a película lacrimal e com a face posterior das pálpebras. A superfície posterior está em contacto com o humor aquoso.

A córnea é um elemento refrativo que mantém a sua potência mais ou menos constante ao longo da vida, contudo apresenta alterações significativas (de 49,00D para 45,98D) entre as 2 e as 4 semanas de vida, diminuindo após as 8 semanas de vida (44,60D). [1] Esta apresenta um valor médio compreendido entre 47,00D e 48,00D após a idade jovem adulta, passando assim de valores mais altos à nascença para menores em crianças e um posterior incremento após esta fase. [2]

É o principal elemento refrativo do olho humano, representando 2/3 do seu poder dióptrico sendo responsável pela passagem da luz para a retina. [3,4]



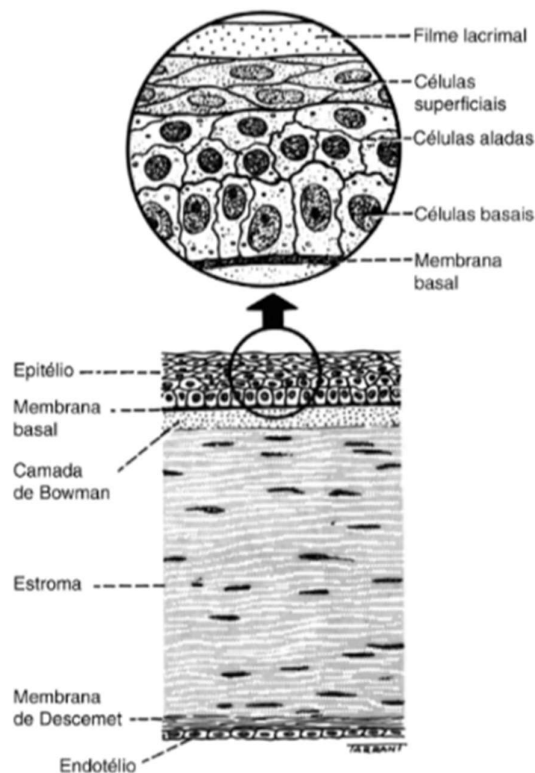
### 1.1.1 Caracterização macroscópica da córnea

A córnea, na sua visualização frontal, apresenta uma forma ovalada, com um diâmetro horizontal e vertical de 12,0mm e 11,5mm, respetivamente. [5,6] O diâmetro médio da superfície posterior é de 11,7mm. [7] O raio de curvatura da superfície anterior apresenta uma grande variação, sendo por isso adotado como valor médio para a sua zona central de 7,8mm, aplanando-se progressivamente até ao limbo, sendo mais plana nasalmente do que temporalmente. A superfície posterior apresenta um raio de curvatura médio de 6,5mm. [8]

A espessura central da córnea é de aproximadamente 520µm e 670µm perto da junção córneo escleral, o que lhe confere um aspeto de lente negativa. [8]

### 1.1.2 Caracterização microscópica da córnea

Histologicamente a córnea é composta por cinco camadas bem diferenciadas, sendo três delas celulares e as outras duas acelulares. [8]



**Figura 1.1** - Caracterização Microscópica da Córnea[9].

O epitélio é a camada mais externa, apresentando uma espessura de aproximadamente 50µm a 60µm, correspondendo a 10% da espessura central da córnea. É composto por 5 a 7 camadas de células diferenciadas que se agrupam em três categorias diferentes: superficiais, intermédias e basais. Esta diferenciação é baseada fundamentalmente na sua morfologia, refletindo também a sua maturidade. A camada mais interna é constituída por células basais, às quais estão aderidas as células aladas das camadas intermédias. Na parte mais externa, estão as células superficiais, mais delgadas que as anteriores e de aspeto escamoso que regularizam a superfície corneal e suportam o filme lacrimal, através da presença de microvilosidades. A principal função do epitélio é bloquear a passagem de detritos, água e bactérias para as outras camadas da córnea. Deve também ser capaz de absorver oxigénio e nutrientes celulares da lágrima. As células do epitélio possuem a capacidade de regeneração, estando em constantemente em renovação.[8,10]

A membrana de Bowman é uma membrana acelular e homogénea, sendo extremamente fina, com uma espessura média de 8µm a 15µm, que separa o epitélio do estroma. [8] Não possui a capacidade de se regenerar e a sua principal função é de proteção, atuando esta como uma barreira defensiva, sendo resistente a traumatismos e protegendo da invasão de micro-organismos e células tumorais. [11]

O estroma corneal é um tecido conjuntivo responsável por manter a transparência da córnea, é a camada mais espessa, com cerca de 550µm de espessura, o que representa cerca de 90% da espessura total da córnea. É composto por fibras de colagénio, substância própria, células estromais, queratócitos ou fibroblastos. Na presença de inflamação, estão também presentes no estroma linfócitos e neutrófilos. [8,12]

A membrana de Descemet é formada por glicoproteínas e colagénio, não possuindo, à semelhança da membrana de Bowman, células. Separa o estroma do endotélio. A sua espessura aumenta ao longo da vida, passando de 3µm ao nascimento, até cerca de 12µm na idade adulta. Apresenta grande elasticidade e rápida capacidade de regeneração, sendo uma membrana bastante resistente. [11,13]

Por fim, a camada mais interna é o endotélio, que é formado por uma única camada de células, formando um mosaico hexagonal. A sua função é manter a hidratação das várias camadas da córnea. Ao contrário do epitélio, o endotélio não tem capacidade de

regeneração, o que se traduz numa diminuição celular e de espessura. Um adulto apresenta cerca de 3000 células/mm<sup>2</sup> e 75% de células hexagonais, [14,15] entre os 20 e os 80 anos existe um decréscimo no número de células endoteliais, para aproximadamente 2600 células/mm<sup>2</sup> e a percentagem de células hexagonais diminui para 60% [10] sendo conhecido este rearranjo celular no endotélio como polimegatismo e pleomorfismo, que mais não é do que a alteração de tamanho e forma, respetivamente, das células em função da falência das demais. [16] Esta perda de células endoteliais está relacionada não só com a idade,[17,18] mas também com o uso de lentes de contacto,[19,20] diabetes,[21] e cirurgias oculares. [22,23] Valores inferiores a 400/500 células/mm<sup>2</sup> 500 células/mm<sup>2</sup> são considerados críticos para um normal funcionamento da córnea, provocando perda de transparência corneal. [10]

## 1.2 Topografia da córnea

A topografia corneal consiste na descrição pormenorizada da córnea, ainda que inicialmente o seu estudo se resumisse à estimativa da curvatura corneal. É atribuído a Scheiner o primeiro registo da determinação do raio central da córnea, em 1619. A partir de 1854 começou a ser possível quantificar a curvatura corneal, pela invenção do queratómetro de Helmholtz. [24] Em 1882 António Plácido desenhou um instrumento que permitia medir qualitativamente a topografia corneal. [25]

A primeira técnica utilizada para a prática clínica foi a queratometria, seguida da fotoqueratoscopia e mais recentemente da videoqueratoscopia. Todos estes sistemas se baseiam nas leis da reflexão, considerando a córnea como um espelho convexo. [26] Estas técnicas serão revistas com mais detalhe no capítulo 1.2.2.

### 1.2.1 Descrição qualitativa

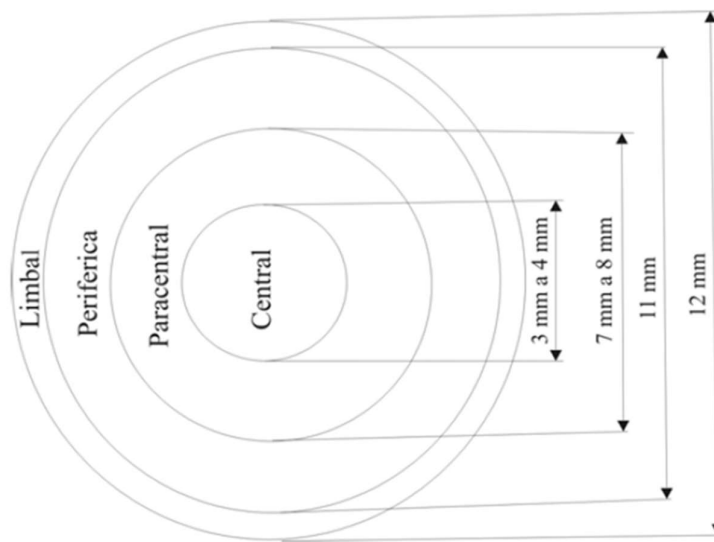
Analisando qualitativamente a superfície corneal, podemos dividir a mesma em quatro zonas distintas, desde o ápex até ao limbo.

A zona central é aquela que é habitualmente medida pelo queratómetro e abrange cerca de 3mm a 4mm de diâmetro e é uma zona quase esférica, uma vez que a sua curvatura não varia mais do que 0,05mm (0,25D). É também conhecida como zona ótica.

A zona paracentral é a zona na qual a córnea se começa a aplanar desde a margem da zona central até aos 8mm de diâmetro. A zona central e a paracentral constituem a zona apical.

A zona periférica é também chamada de zona de transição uma vez que é a zona onde há um maior aplanamento e asfericidade corneal. Esta zona apresenta um diâmetro de cerca de 11mm.

A zona limbal com um diâmetro médio de cerca de 12mm, encontra-se na extremidade da córnea, junto da esclera. [8,27]



**Figura 1.2** - Zonas da Córnea (Adaptado de Waring).

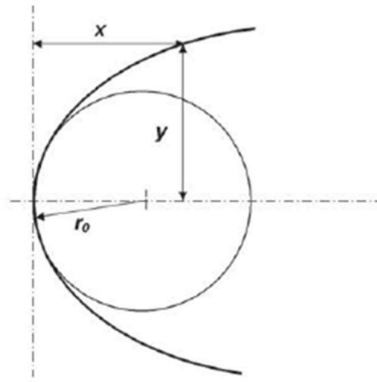
### 1.2.2 Descrição matemática

Alguns investigadores descrevem a superfície anterior da córnea fazendo uma aproximação do perfil corneal a secções cónicas. Uma secção cónica é uma curva formada pela interseção de um cone com um plano e alterando o ângulo e a localização da interseção obtemos secções cónicas diferentes.[28]

Uma secção cónica pode ser completamente descrita utilizando dois parâmetros, sendo eles o raio apical e a excentricidade. A maneira mais simples de descrever esta secção cónica é utilizando a equação matemática deduzida por Baker para descrever bidimensionalmente a superfície anterior da córnea.

$$y^2 = 2r_0x - px^2,$$

onde:  $r_0$  é o raio de curvatura apical e  $p$  é o índice de aplanamento da córnea.[28]

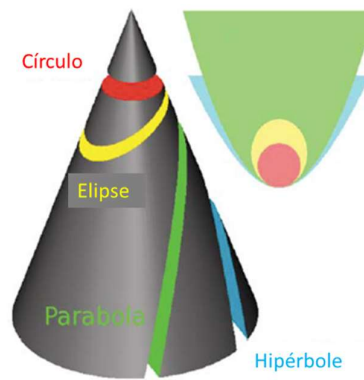


**Figura 1.3** - Secção cónica.[28]

O valor obtido para o fator de forma,  $p$ , determina o tipo de secção ótica. Quando  $p=1$  representa um círculo, quando  $p=0$  trata-se de uma parábola e valores intermédios de  $p$  definem elipses de diferentes dimensões. Se a curvatura diminui à medida que se afasta do centro ou ápice corneal, considera-se uma elipse prolata ( $0 < p < 1$ ) e se pelo contrário há um encurvamento progressivo a partir do ápice para a periferia, temos então uma elipse oblata ( $p > 1$ ). O fator de forma ( $p$ ) indica de que forma é que a curva de uma parábola difere da curva de um círculo e, por esta razão, o termo mais utilizado para definir a asfericidade é o  $Q$ , uma vez este termo caracteriza a mudança de curvatura corneal, desde o centro até à periferia e está relacionado com o fator forma,  $p$ , pela seguinte equação:

$$Q = p - 1$$

Quando  $Q = 0$  a curva representada é um círculo, se  $-1 < Q < 0$  a curva é uma elipse prolata. Trata-se de uma parábola quando  $Q = -1$  e uma hipérbole quando  $Q < -1$ . Quando  $Q > 0$  a curva representa uma elipse oblata.[28]



**Figura 1.4** - Diferentes secções cónicas.[28]

A forma da córnea pode então ser descrita por três termos também aplicáveis a todas as secções óticas, sendo eles o fator de forma ( $p$ ), a asfericidade ( $Q$ ) como já foi referido anteriormente e também a excentricidade ( $e$ ). Na tabela 1.1 podemos verificar a forma como estes três termos se relacionam e, uma vez conhecido um deles, é possível fazer a conversão para outros.

Tabela 1.1 - Relação entre os diferentes descritores da topografia corneal

	$e^2$	$p$	$Q$
$e^2$	*	$1 - p$	$- Q$
$p$	$1 - e^2$	*	$1 + Q$
$Q$	$-e^2$	$p - 1$	*

São descritos na literatura valores de asfericidade entre -0,01 e -0,80 [29-33] indicando este valor negativo de asfericidade que a córnea normal se aplanar em direção à periferia, apresentando, portanto, a forma de uma elipse prolata [5,28,30] e o valor de asfericidade comumente aceite para córneas de jovens adultos é de  $-0.23 \pm 0.08$  [30,34]. Na tabela 1.2 encontram-se os valores de asfericidade ( $Q$ ) da superfície anterior, determinados por diferentes autores.

Valores positivos de asfericidade corneal denotam a presença de uma córnea oblata, típica em pacientes sujeitos a cirurgia LASIK para correção da miopia ou tratamentos de ortoqueratologia. Valores de asfericidade corneal iguais a zero representam córneas totalmente esféricas. Valores de asfericidade corneal muito negativos estão normalmente associados a córneas com ectasias ou córneas submetidas a cirurgia para correção da hipermetropia, tornando-se demasiado prolatas [35,36].

Tabela 1.2 - Valores de asfericidade média da superfície corneal anterior encontrados por diferentes autores.

<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Asfericidade (Q)</b>
Townsley[31]	1970	-0,30
Mandell e St Helen[37]	1971	-0,23
Guillon <i>et al.</i> [38]	1986	-0,18
Patel <i>et al.</i> [39]	1993	-0,01
Lam e Douthwaite[40]	1997	-0,30
Yebra-Pimentel <i>et al.</i> [34]	2004	-0,23
Trujillo <i>et al.</i> [41]	2011	-0,23

### 1.2.3 Instrumentos para a medição da superfície ocular

Com um interesse cada vez maior em estudar a superfície corneal não só no centro, mas também na periferia, desenvolveram-se nas últimas décadas instrumentos fundamentais na prática clínica, sendo extremamente úteis na adaptação de lentes de contacto, na deteção precoce de ectasias, no rastreio dos pacientes candidatos a cirurgia refrativa assim como na avaliação das alterações da forma da córnea após a realização das mesmas[4,42].

#### 1.2.3.1 Queratometria

A queratometria é o método mais antigo de medida dos raios de curvatura, baseando-se na relação entre o tamanho de um objeto e o tamanho da sua imagem refletida na córnea. Este sistema baseia-se nas leis da reflexão, considerando a superfície anterior da córnea como um espelho convexo [43-45]. Existem dois tipos de querátómetros manuais, o querátómetro de Helmholtz (1853) e o querátómetro de Javal (1881), sendo que a diferença entre ambos é a forma como duplicam e medem as imagens refletidas na córnea. [46,47] A queratometria manual apresenta algumas limitações, uma vez que apenas mede um diâmetro de 3mm a 4mm da região central, sendo apenas útil em casos de córneas regulares, uma vez que assume a córnea como uma superfície perfeitamente esfero-cilíndrica [46].

Os autoqueratómetros modernos para além de medir a curvatura central nos meridianos principais da zona central da córnea permitem também fazer uma medição da curvatura de regiões periféricas. Para isso, estes instrumentos possuem um ponto periférico de fixação a uma distância angular de entre 20° e 30°, que o paciente deve fixar. Alguns destes instrumentos permitem obter um valor representativo das alterações de curvatura entre o centro e a região periférica correspondente (asfericidade ou excentricidade) através de algoritmos matemáticos específicos de cada instrumento.[8]

### 1.2.3.2 Queratoscopia

Em 1880, Plácido descreveu a utilização de um aparelho que consistia num disco luminoso com anéis brancos e pretos com um orifício ao centro pelo qual era possível observar a córnea do paciente.[25,48] Este método não era muito diferente da queratometria, uma vez que é baseado no facto de a córnea se comportar como um espelho convexo, quando se incide luz sobre ela. A reflexão destes anéis na córnea permitia efetuar um diagnóstico qualitativo das irregularidades existentes na superfície corneal. Os dados quantitativos obtidos a partir das imagens refletidas dos anéis de Plácido devem-se a Gullstrand, que em 1896 colocou uma máquina fotográfica na abertura central do disco de Plácido e desenvolveu algoritmos para obter esses dados. Numa córnea mais curva (com maior potência), os anéis projetados serão finos e muito próximos, ao contrário de uma córnea mais plana, na qual os anéis projetados serão mais largos e mais espaçados.[49]

Este método permite um maior estudo da superfície corneal comparativamente aos queratómetros, assim como o estudo da periferia corneal. Em relação às desvantagens, exige bastante treino por parte do observador e uma vez que não há anéis projetados na zona central da córnea, esta zona não é avaliada. [46,50]



**Figura 1.5** - Disco de Plácido [46]



### 1.2.3.3 Topografia corneal assistida por computador

A topografia corneal utiliza o mesmo princípio da queratoscopia e permite fazer uma análise qualitativa e quantitativa da forma da córnea. [51]

Existem dois tipos de sistema para a aquisição de imagens da córnea: um deles é um sistema de reflexão, baseado na reflexão dos discos de Plácido da córnea e o outro é um sistema de projeção que faz uma secção ótica da córnea e se observa a luz difundida pelo tecido corneal. Este último permite fazer uma análise da face anterior e posterior da córnea. [35]

São projetados anéis concêntricos na córnea e o número de anéis, a espessura, a cor e a posição dos anéis em relação uns aos outros variam de sistema para sistema. Permite uma análise de cerca de 7000 pontos da córnea, sendo possível realizar uma análise mais completa da superfície de uma córnea normal, assim como de uma córnea patológica ou sujeita a procedimentos refrativos. Uma vez que a imagem refletida na córnea é guardada por uma câmara de vídeo acoplada ao computador, é possível uma análise detalhada dos dados obtidos, baseando-se em algoritmos matemáticos, assim como de um possível seguimento das alterações corneais que possam existir. [52]

As medidas obtidas com este método apresentam grande precisão e repetibilidade e permitem medir cerca de 7mm a 9mm de diâmetro corneal, desde o seu ápex até ao limbo. [53]

## 1.3 Alterações na superfície corneal

Do ponto de vista ótico a córnea apresenta uma forma prolata, com uma asfericidade negativa. Esta asfericidade negativa da córnea tenta, de alguma forma, reduzir a aberração esférica periférica, permitindo uma melhor qualidade da imagem retiniana. [54] Estudos recentes mostraram que o valor da asfericidade corneal varia significativamente com a idade [55] e o erro refrativo. [56] Há também alterações na asfericidade corneal em pacientes sujeitos a cirurgias refrativas ou ortoqueratologia, bem como em pacientes com patologias corneais, como o caso do queratocone. [57]

As alterações da asfericidade produzem um aumento nas aberrações óticas com um impacto significativo na qualidade de visão [58], causando uma diminuição na sensibilidade visual ao contraste [59,60], e dificuldade na visão noturna. [61]

### 1.3.1 Idade e sexo

É referido por vários autores na literatura uma diminuição da curvatura corneal com a idade, independentemente do sexo. [62-65] A asfericidade corneal também sofre alterações com a idade, uma vez que existe uma tendência para que a córnea se torne mais esférica com o aumento da idade. [66] Num estudo de 2009 de Scholz *et al.* [67], encontraram-se valores de asfericidade mais negativos em homens do que mulheres, contrastando com os dados encontrados em estudos anteriores, onde não se encontraram diferenças estatisticamente significativas para a asfericidade corneal entre sexos. [68,69]

### 1.3.2 Erros refrativos

Classifica-se um olho como sendo míope quando a imagem do objeto observado se forma antes da retina devido à excessiva potência da córnea ou do cristalino, ou a um aumento do comprimento axial do olho. [70] Na hipermetropia acontece o contrário, a imagem é formada num ponto posterior à retina, devido a um comprimento axial curto, resultando numa imagem desfocada sobre esta, com a acomodação em repouso. A córnea, por ser o elemento refrativo mais potente, é geralmente o que mais contribui para o aparecimento da hipermetropia. [70] No astigmatismo existe uma dificuldade na formação de um ponto focal na retina devido à diferença de curvatura das superfícies refrativas do meio ocular provocadas pela córnea ou cristalino. [70,71] Pode ser ainda classificado como regular quando os dois meridianos estão a 90° um do outro ou irregulares quando não se verifica esta perpendicularidade entre estes meridianos. [71] Os astigmatismos regulares podem ser à regra, quando a curvatura do meridiano vertical é maior do que a curvatura horizontal, ou contra à regra quando a curvatura do meridiano horizontal é maior do que a curvatura do meridiano vertical. Nos astigmatismos oblíquos, os meridianos principais não se encontram entre 90° e 180°. [71]

A curvatura corneal média de hipermétropes relativamente aos míopes é maior, estes apresentam uma córnea mais plana e consoante a magnitude do erro refrativo, maior é este aplanamento. [55,56,72-74]

Vários estudos mostram valores de asfericidade corneal mais negativos em míopes do que em hipermetropes, explicando assim também o motivo pelo qual os míopes apresentam maior qualidade visual, uma vez que este valor mais alto de asfericidade favorece a compensação das aberrações esféricas do olho.[56,75,76]

Num artigo de 2007, os autores encontraram valores de asfericidade semelhantes no meridiano mais curvo, independentemente do valor do astigmatismo e valores de asfericidade tendencialmente mais elevados (mais negativos) no meridiano mais plano, com o aumento do erro refrativo. [30]

### 1.3.3 Queratocone

O queratocone é uma patologia corneal, de carácter não inflamatório e lentamente progressivo na maioria dos casos, com desenvolvimento no início da puberdade, tipicamente bilateral, com progressão assimétrica, estagnando normalmente por volta dos 30 ou 40 anos. [77] A etiologia desta ectasia corneal não é ainda conhecida, sendo provavelmente multifatorial, estando também associada a outras patologias como o caso da Síndrome de Down. [77]

O queratocone caracteriza-se por uma protusão progressiva da córnea na zona afetada, como resultado de uma degeneração de carácter não inflamatório do estroma corneal. [78,79] A topografia corneal permite confirmar a presença de queratocones desde as suas formas mais incipientes. [77]

Esta ectasia provoca astigmatismos irregulares e aumento da curvatura corneal, [80-82] podendo também causar uma mudança abrupta da asfericidade corneal. Em cones centrais existe um aumento da asfericidade no sentido negativo, sendo ainda mais evidente em queratocones mais avançados. Em cones paracentrais a asfericidade toma valores mais positivos. [83,84]

### 1.3.4 Ortoqueratologia e cirurgias refrativas

A ortoqueratologia é uma técnica utilizada com o intuito de travar a progressão da miopia. A correção do erro refrativo é conseguida através do efeito de aplanção sobre a superfície anterior da córnea havendo portanto, uma alteração da forma de córnea de prolata para oblata durante a duração do tratamento, consequentemente existem também alterações nos valores de asfericidade, que sofrem um incremento significativo. [36,85]

Nas cirurgias LASIK para correção da miopia e do astigmatismo miópico há uma alteração da forma da córnea, tornando a zona central mais plana do que a periferia, passando então de uma forma prolata para oblata, existindo também nestes casos um incremento significativo nos valores da asfericidade corneal (valores de asfericidade tornam-se mais positivos). Estas alterações na asfericidade corneal têm como consequência uma diminuição da qualidade visual, nomeadamente uma diminuição da sensibilidade visual ao contraste e dificuldade na visão noturna. [86,87] Nas cirurgias LASIK para a correção da hipermetropia, as córneas originalmente prolatas tornam-se ainda mais prolatas após a cirurgia, existindo então uma alteração da asfericidade pós operatória no sentido negativo. [76]

Sabe-se também que existe uma maior alteração na asfericidade pós operatória, em função da magnitude do erro refrativo a tratar, quanto maior a ametropia pré-operatória, mais positivo é o valor da asfericidade pós-operatório em olhos míopes e mais negativo em olhos hipermétropes. [88]

## **2. HIPÓTESES E OBJETIVOS DO ESTUDO**

### **2.1 Hipóteses**

A asfericidade corneal é um parâmetro corneal ao qual normalmente não se dá muita atenção numa consulta de optometria. O seu conhecimento permite perceber de que forma é que a córnea se aplaina desde o centro em direção à periferia e permite perceber se este aplanamento ocorre de forma normal ou anormal, permitindo descartar eventuais ectasias corneais.

É frequente que o paciente habitual numa consulta de optometria recorra ao optometrista para perceber, por exemplo, se é um bom candidato à cirurgia refrativa ou então com queixas específicas após se ter submetido à mesma. Sendo assim torna-se fundamental o conhecimento deste parâmetro corneal, assim como de que forma é que este varia.

Neste estudo foi analisada a asfericidade em termos transversais e longitudinais a fim de investigar se a mesma é diferente entre género e erros refrativos e se há alterações em função da idade, respetivamente.

## 2.2 Objetivos

Os objetivos deste estudo foram:

1. Analisar a exatidão da medida da asfericidade obtida com um autorrefratómetro/queratómetro.
  - 1.1. Diferenças entre a curvatura corneal e a asfericidade obtida com ambos os instrumentos
2. Conhecer o valor da asfericidade média da população.
  - 2.1. Variação da asfericidade, curvatura corneal e erro refrativo com o género, idade, erro refrativo, orientação do astigmatismo corneal
3. Estudar as alterações longitudinais da asfericidade.
  - 3.1. Variações da asfericidade, do erro refrativo e da curvatura corneal ao longo de pelo menos 5 anos.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Desenho do estudo

Com o objetivo de estudar as alterações da asfericidade foi feito inicialmente um estudo transversal, de forma a validar os valores da asfericidade obtidos com um autorrefratômetro-queratômetro, instrumento usado na prática clínica de optometria. Os valores das medidas foram comparados com os obtidos num topógrafo corneal.

Posteriormente para avaliar as alterações da asfericidade com a idade, foi realizado um estudo retrospectivo utilizando fichas clínicas de consultas num período entre 5 a 10 anos. Foram registadas as medidas da asfericidade corneana do autorrefratômetro-queratômetro e do topógrafo corneal.

Por último, foi realizado um outro estudo retrospectivo, utilizando fichas clínicas de consultas de optometria (considerada o primeiro registo existente) para conhecer os valores da asfericidade média.

#### 3.2 Participantes e tamanho da amostra

O tamanho da amostra foi realizado, utilizando o calculador de tamanho de amostras de *Harvard* ([http://hedwig.mgh.harvard.edu/sample\\_size/js/js\\_crossover\\_quant.html](http://hedwig.mgh.harvard.edu/sample_size/js/js_crossover_quant.html)). Para garantir uma potência de 80% numa comparação dependente de medias (comparação entre equipamentos com os mesmos sujeitos e comparação longitudinal com os mesmos sujeitos) da asfericidade, um tamanho de amostra de 101 olhos foi necessária para um nível de significância de 0,05, considerando um desvio padrão de 0,10 e uma diferença entre medidas de 0,04.

Tendo em conta o valor da amostra necessária foram recrutados aleatoriamente pacientes que participavam em consultas de optometria (janeiro a abril de 2016) num gabinete de optometria do distrito de Braga e que aceitaram participar no estudo. Foram

seguidas as orientações da Declaração de Helsínquia, e os sujeitos que participaram no estudo longitudinal assinaram um termo de consentimento informado, tendo os objetivos e procedimentos do estudo sido completamente explicados aos mesmos. Os instrumentos usados neste trabalho estavam disponíveis no gabinete de optometria e cumprem os requisitos para o desenho deste estudo. Foram registados valores, para a validação das medidas do ARK, de 109 olhos de 55 pacientes (20 do sexo masculino e 35 do sexo feminino) com idades compreendidas entre os 10 e os 62 anos.

Posteriormente foram recolhidos aleatoriamente e analisados os dados das fichas de optometria dos pacientes do mesmo gabinete de optometria que cumpriam os critérios de inclusão para o estudo (todos não descritos nos critérios de exclusão). Assim, foram registados dados de 1507 sujeitos (882 do sexo masculino e 625 do sexo feminino) desde os 5 até aos 88 anos, utilizando apenas os seus olhos direitos, para o estudo da média da asfericidade corneal na população em estudo. Posteriormente foram registados dados de 191 pacientes (72 do sexo masculino e 119 do sexo feminino), com consultas efetuadas com uma diferença entre elas de pelo menos 5 anos e no máximo 10 anos, para o estudo das alterações da asfericidade ocorridas ao longo do tempo.

### **3.3 Critérios de exclusão**

Atendendo que existem várias amostras neste estudo e que alguns valores de sujeitos correspondem a recolhas de fichas de um gabinete de optometria, os critérios de exclusão foram os mesmos nos 3 estudos efetuados. Foram excluídos todos os sujeitos com qualquer tipo de alteração corneal (perda de transparência corneal/edema, queratocone, degeneração marginal pelúcida, leucoma) ou anteriormente sujeitos a cirurgia ocular (refrativa ou catarata). Foi utilizado adicionalmente o topógrafo corneal como critério para descartar córneas irregulares.



### 3.4 Procedimento experimental

#### 3.4.1 Parâmetros estudados

Tendo em conta os objetivos do estudo foram registados para as diversas análises (descritas nos resultados), os dados dos pacientes como idade, género, data da consulta, valor da refração central subjetiva (esfera, cilindro e eixo - como consequência da consulta existente ou realizada), queratometria (valores em mm dos meridianos mais curvo e plano) e valor da asfericidade.

#### 3.4.2 Autorrefratómetro

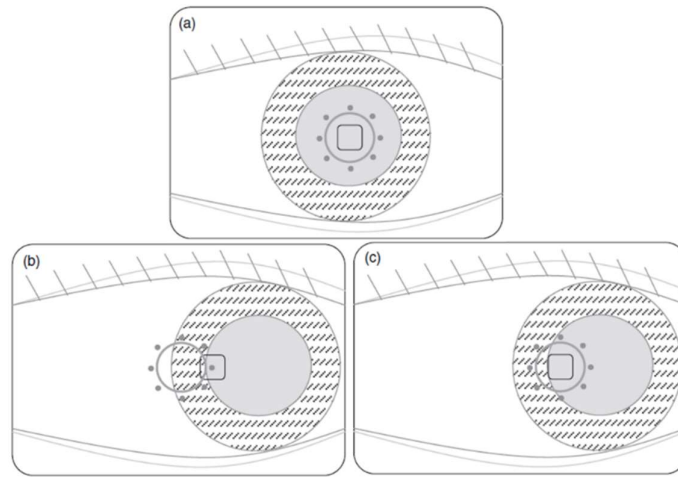
O autorrefratómetro usado neste estudo foi o Autorrefratómetro-Queratómetro NIDEK 700A (Gamagori, Japan – figura 3.1). Foram registados valores da refração central objetiva (esfera, cilindro e eixo – embora este parâmetro não entre neste estudo), da queratometria central (do meridiano mais curvo e mais plano) e dos valores da excentricidade corneal.



**Figura 3.1** - Autorrefratómetro-Queratómetro NIDEK 700 A.

Os valores da excentricidade corneal foram obtidos através das medidas obtidas em cinco locais diferentes da córnea com a ARK-700A: no centro e na periferia nasal, temporal, superior e inferior, utilizando para isso a fixação periférica interna correspondente do instrumento. Para isso, era pedido ao sujeito que fixasse o LED aceso

na periferia (LED vermelho), enquanto o operador manipulava o joystick para colocar o anel concêntrica com o alvo no reflexo corneal (figura 3.2).



**Figura 3.2** - Esquema gráfico da obtenção dos valores da queratometria e topometria corneal com o ARK-700A. (a) Posicionamento do olho na medida central, antes da rotação, (b) posicionamento após a rotação do olho, e não alinhamento do aparelho, (c) posicionamento após a rotação do olho, e posterior alinhamento do aparelho para obtenção da leitura periférica. (adaptado de [89])

### 3.4.3 Topografia corneal

A medida da topografia corneal permitiu analisar a superfície corneal, as suas características de curvatura, morfologia e regularidade, para informação adicional da inclusão do paciente nos critérios de inclusão.

O topógrafo corneal utilizado neste estudo foi o MODI 2.0 (CSO, Itália) (figura 3.3). Este instrumento proporciona informação dos mapas queratométricos, bem como dos valores da asfericidade em diferentes diâmetros.

Foi utilizado um sistema que se baseia na reflexão de anéis de Plácido na superfície anterior da córnea. Para a realização da topografia foi pedido a cada paciente que fixasse o LED ao centro dos anéis, mantendo o olho aberto. Em todos os casos nos quais a sombra do nariz impedia uma projeção adequada dos anéis no lado nasal, foi pedido ao paciente que fizesse uma ligeira rotação da cabeça para o lado esquerdo ou direito, consoante se tratasse do olho direito ou esquerdo respetivamente, a ser avaliado. Antes de obter a imagem era pedido ao paciente que pestanejasse.



**Figura 3.3** - Topógrafo MODI 2.0 (CSO, Itália)

### 3.5 Análise estatística

Foi feita a conversão sugerida por Thibos *et.al.*[90], em relação ao astigmatismo corneal para obter as médias dos dois meridianos corneais e para análise estatística entre médias do erro refrativo a conversão vetorial da refração foi utilizada de acordo com Thibos *et al.* [91]:

$$M = \text{Esf} + \text{Cil}/2$$

$$J0 = -\text{Cil} \cdot \cos(2 \alpha)/2$$

$$J45 = -\text{Cil} \cdot \sin(2 \alpha)/2$$

onde, Esf, Cil, e  $\alpha$  são a esfera, o cilindro e o eixo, respetivamente da refração subjetiva obtida na consulta de optometria realizada. M representa o equivalente esférico da refração. J0 descreve as diferenças encontradas no poder dióptrico entre os meridianos horizontais e vertical. Apresenta valores positivos para astigmatismos à regra e valores negativos para astigmatismo contra a regra. O valor do astigmatismo oblíquo é representado pelo vetor J45 e apresenta valores positivos para astigmatismo com o eixo negativo a cerca de 45° e negativo para astigmatismos com o eixo negativo próximo dos 135°. [91]

A análise estatística foi realizada com o SPSS software package v.22 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). São apresentados os dados obtidos em termos de média±desvio padrão, os valores máximos e mínimos.

O teste Kolmogorov-Smirnov Test foi aplicado para avaliar a normalidade da distribuição dos dados. Os testes ANOVA e Kruskal-Wallis foram realizados para avaliar as diferenças existentes entre os grupos etários e os grupos refrativos no estudo da asfericidade e da queratometria. Para as comparações múltiplas, os valores da significância estatística foram ajustados usando o teste Bonferroni post-hoc test. Os testes Paired Samples T-test (test T de Student) e Wilcoxon Signed Ranks foram usados para comparar as variáveis no estudo longitudinal da asfericidade e da queratometria, separadamente, para as variáveis com distribuição normal ou não normal, respetivamente. Isto permitiu-nos concluir se existiam diferenças estatisticamente significativas entre a 1ª e a 2ª consulta. Os testes Independent Samples T-test e Mann-Whitney test foram utilizados para comparar as diferenças entre os grupos para as variáveis com distribuição normal ou não, respetivamente.

As correlações foram realizadas pelo teste de Pearson se as variáveis apresentavam uma distribuição normal e no caso contrário a correlação de Spearman. As correlações foram consideradas fortes se eram maiores do que 0,800, moderadamente fortes se estavam entre 0,500 e 0,800, razoável se estavam entre 0,300 e 0,500 e fracas se eram menores do que 0,300.

Com o objetivo de analisar as discrepâncias entre os valores obtidos individualmente da queratometria e da asfericidade entre o topógrafo corneal e o autorrefratómetro-queratómetro foram desenhados os gráficos de Bland and Altman, onde se observam os limites de concordância de 95% das medidas (média da diferença  $\pm$  1,96 da diferença dos desvio padrão). [92]

Para fins estatísticos, um valor de p menor que 0,050 foi considerado estatisticamente significativo.

## **4. RESULTADOS**

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos.

Primeiramente serão apresentados os dados para o primeiro estudo, no qual se pretendia fazer uma validação da medida da asfericidade com um autorrefratómetro-queratómetro. Será feita uma caracterização da amostra estudada, assim como as diferenças encontradas entre os dois instrumentos.

No segundo estudo, que pretende analisar a asfericidade, será feita uma caracterização da amostra estudada e seguidamente uma análise detalhada da asfericidade por género, idade, grupo refrativo e orientação do astigmatismo corneal.

No estudo das alterações longitudinais da asfericidade, será feita uma caracterização da amostra estudada, assim como dos descritivos gerais que serão analisados neste estudo longitudinal, serão eles a idade, refração subjetiva, asfericidade e curvatura corneal.

### **4.1 Validação da medida da asfericidade com um autorrefratómetro-queratómetro**

#### **4.1.1 Caracterização da amostra**

As características da amostra estão apresentadas na tabela 4.1. Neste estudo participaram 20 homens e 34 mulheres, tendo sido recolhidos dados de ambos os olhos, à exceção de um caso em que apenas se recolheram dados do olho direito (107 olhos, 40 masculinos e 67 femininos).

Ao analisar a asfericidade dos sujeitos encontraram-se valores médios semelhantes com ambos os instrumentos. Com o ARK NIDEK 700A o valor de asfericidade encontrado foi de  $-0,24 \pm 0,12$ . Para as diferentes zonas corneais avaliadas

(6,0mm, 6,5mm e 7,0mm de diâmetro) com o topógrafo MODI 2.0, verificou-se que a asfericidade tendia a aumentar o seu valor negativo à medida que a distância à zona central da córnea, aumentava.

**Tabela 4.1** - Dados demográficos da amostra expressos em média±DP, máximo e mínimo. Os valores da asfericidade com o topógrafo (Q\_Topogf) são relativos a zonas corneais de 6,0mm, 6,5mm e 7mm de diâmetro corneal

Parâmetro	Descrição	
<b>n</b>	107 olhos	
<b>Idade (anos)</b>	31,79 ± 13,54	[10 a 60]
<b>Sexo</b>	67 Feminino (62,6%) 40 Masculino (37,4%)	
<b>M (D)</b>	-0,77 ± 1,49	[-4,50 a +2,75]
<b>J0 (D)</b>	0,06 ± 0,52	[-2,38 a +1,88]
<b>J45 (D)</b>	0,05 ± 0,20	[-0,56 a +1,53]
<b>ARK queratometria (mm)</b>	7,82x178° // 7,72x88°	
<b>Q_AR</b>	-0,24 ± 0,12	[-0,24 a -0,03]
<b>Topógrafo queratometria (mm)</b>	7,80x1° // 7,69x91°	
<b>Q_Topogf_6,0mm</b>	-0,19 ± 0,10	[-0,46 a -0,01]
<b>Q_Topogf_6,5mm</b>	-0,21 ± 0,10	[-0,51 a -0,01]
<b>Q_Topogf_7,0mm</b>	-0,25 ± 0,10	[-0,58 a -0,01]

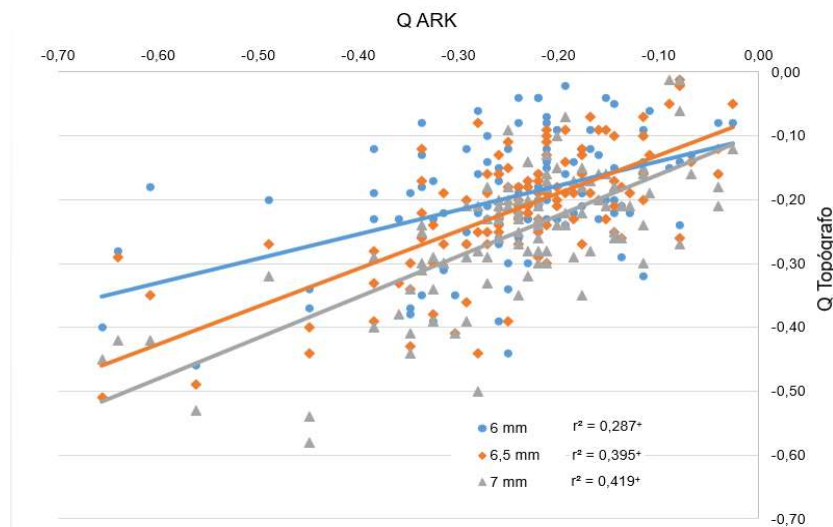
M: Esférico equivalente; J0: diferença na potência dióptrica entre o meridiano horizontal e vertical; J45: astigmatismo oblíquo; AR: Autorrefratômetro; Q: Asfericidade Corneal.

#### 4.1.2 Diferenças entre as medidas do autorefratômetro-queratômetro ARK700A e do Topógrafo MODI 2.0

Como mostrado na tabela 4.2, as diferenças dos componentes vetoriais da curvatura corneal encontradas entre os dois instrumentos foram baixas, tendo sido estatisticamente significativas para os componentes M e J45. Para os valores de curvatura corneal, os dois instrumentos apresentaram correlações moderadamente fortes positivas e significativas ( $r > 0,750$ ,  $p < 0,010$ , correlação de Spearman).

No que diz respeito à asfericidade corneal, as diferenças encontradas entre os dois instrumentos foram estatisticamente significativas para zonas corneais de 6,0mm e 6,5mm de diâmetro. Para estas zonas, o ARK 700 revela valores de asfericidade ligeiramente superiores ao topógrafo MODI 2.0, apesar de estas não serem clinicamente significativas. Os valores encontrados para a asfericidade em ambos os instrumentos, revelaram estar significativamente

correlacionados de forma moderada e positiva ( $r > 0,500$ ,  $p < 0,010$ , correlação de Spearman, figura 4.1).



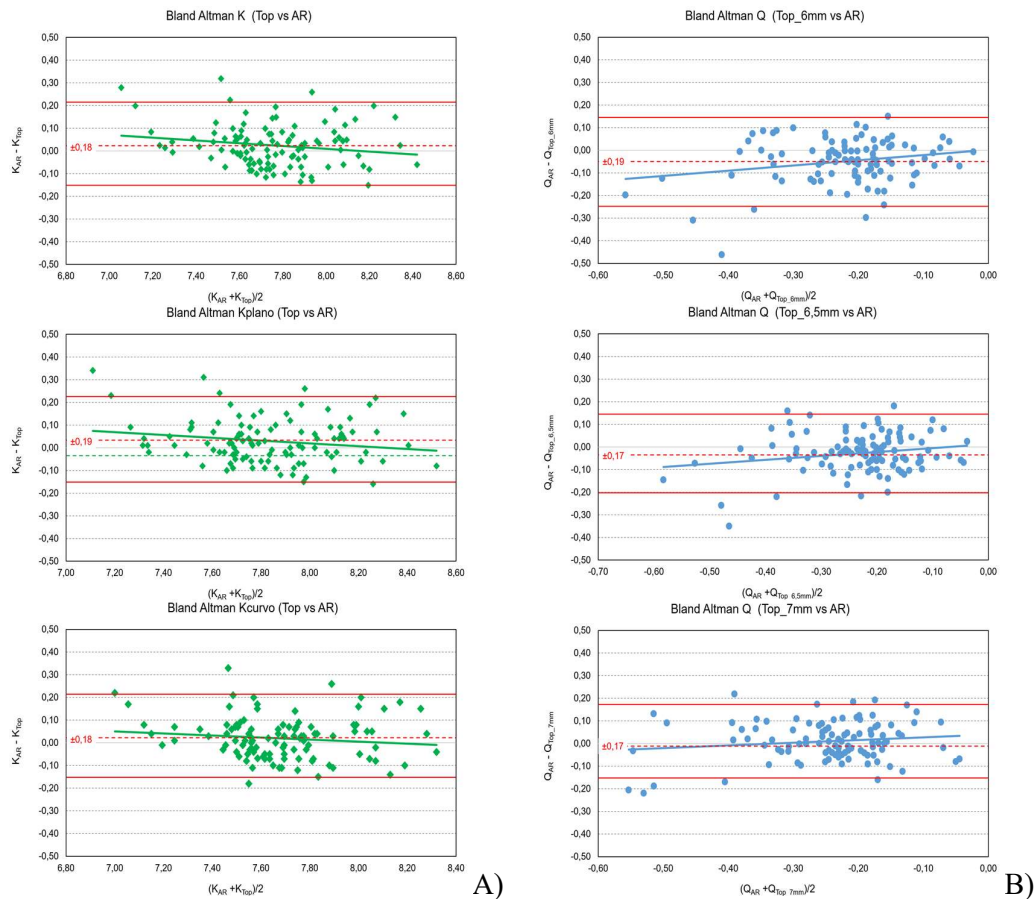
**Figura 4.1** - Gráficos de correlações dos valores obtidos entre a asfericidade do topógrafo corneal (diâmetros de 6, 6,5 e 7mm) e o autorrefratômetro-queratômetro.

A análise da tabela 4.2 permite melhor visualização quando são desenhados os gráficos de Bland-Altman (figura 4.2) e observamos a comparação dos valores obtidos para a queratometria entre o topógrafo corneal e o autorrefratômetro-queratômetro, descrita pelos valores de  $K_{\text{médio}}$ ,  $K_{\text{plano}}$  e  $K_{\text{curvo}}$ .

**Tabela 4.2** - Diferenças e correlações dos componentes vetoriais da curvatura corneal e da asfericidade corneal, entre o ARK 700 e o topógrafo MODI 2.0

	Diferenças		Correlações
	média $\pm$ DP p *		r p +
$M_{\text{ARK}} - M_{\text{Topogf}}$	$0,02 \pm 0,09$ <b>0,034</b>	$0,03 \times 120^\circ //$ $0,02 \times 30^\circ$	0,924 <b>&lt;0,001</b>
$J0_{\text{ARK}} - J0_{\text{Topogf}}$	$0,00 \pm 0,05$ 0,805		0,839 <b>&lt;0,001</b>
$J45_{\text{ARK}} - J45_{\text{Topogf}}$	$-0,01 \pm 0,02$ <b>&lt;0,001</b>		0,764 <b>&lt;0,001</b>
$Q_{\text{ARK}} - Q_{6,0\text{mm}}$	$-0,05 \pm 0,10$ <b>&lt;0,001</b>		0,536 <b>&lt;0,001</b>
$Q_{\text{ARK}} - Q_{6,5\text{mm}}$	$-0,03 \pm 0,09$ <b>0,002</b>		0,628 <b>&lt;0,001</b>
$Q_{\text{ARK}} - Q_{7,0\text{mm}}$	$0,01 \pm 0,08$ 0,172		0,648 <b>&lt;0,001</b>

(\*) Wilcoxon test; (+) Spearman;



**Figura 4.2** - Gráficos de Bland Altman na comparação dos valores obtidos entre: A) queratometria entre o topógrafo corneal e o autorrefratômetro-queratômetro para o K<sub>médio</sub>, K<sub>plano</sub> e K<sub>curvo</sub> e B) a asfericidade entre o topógrafo corneal (diâmetros de 6, 6,5 e 7mm) e o autorrefratômetro-queratômetro. Nos gráficos são apresentados os limites de concordância de 95% das medidas (média da diferença  $\pm 1,96$  da diferença dos desvio padrão – traços vermelhos).

A análise das diferenças entre as queratometrias mostra que 101 dos sujeitos se encontram dentro de intervalo de concordância (95%, diferença máxima =  $\pm 0,19$ mm) e 79 no intervalo do desvio padrão (diferença máxima =  $\pm 0,10$ mm), embora a média das diferenças dos mesmos muito próxima do zero e em termos clínicos a diferença  $0,03 \times 120^\circ // 0,02 \times 30^\circ$  não apresente significado clínico. Quando fazemos a mesma análise para os valores obtidos na asfericidade (Q<sub>6mm</sub>, Q<sub>6,5mm</sub> e Q<sub>7mm</sub>) verificamos que 100 dos sujeitos se encontram dentro de intervalo de concordância (95%, diferença máxima =  $\pm 0,19$ ) e 74 no intervalo do desvio padrão (diferença máxima =  $\pm 0,10$ mm), sendo que o valor da asfericidade obtida no topógrafo com 7mm de corda é a que melhor semelhança apresenta em relação ao autorrefratômetro-queratômetro.



## 4.2 Valor da asfericidade – estudo transversal

### 4.2.1 Caracterização da amostra

No estudo da análise da asfericidade, e após análise retrospectiva, a amostra final ficou constituída por 1484 olhos direitos. A idade média dos sujeitos foi de  $40,21 \pm 18,38$  anos (idades entre os 5 e os 88 anos) dos quais 870 (58,6%) eram do sexo feminino. Do total da amostra 405 eram míopes (27,3%), 784 emétopes (52,8%) e 295 eram hipermetropes (19,9%).

### 4.2.2 Análise por género

No estudo da análise da asfericidade, a amostra era constituída por 1484 olhos direitos. Destes 870 (58,6%) eram do sexo feminino (idade média  $39,2 \pm 17,9$  anos) e 614 (41,4%) eram do sexo masculino (idade média  $41,6 \pm 18,9$  anos). Na tabela 4.3 apresentam-se os dados demográficos, refrativos, de asfericidade e curvatura corneal para cada um dos géneros, bem como a significância relativa às diferenças entre eles.

Ao analisarmos as diferenças entre géneros verificou-se que o erro refrativo apenas apresenta uma diferença estatisticamente significativa para a componente J0. No entanto, esta diferença ainda que apresente significância estatística, não é clinicamente relevante como podemos ver pela expressão da notação clínica, o que nos pode indicar que a diferença de género não influencia a expressão do erro refrativo.

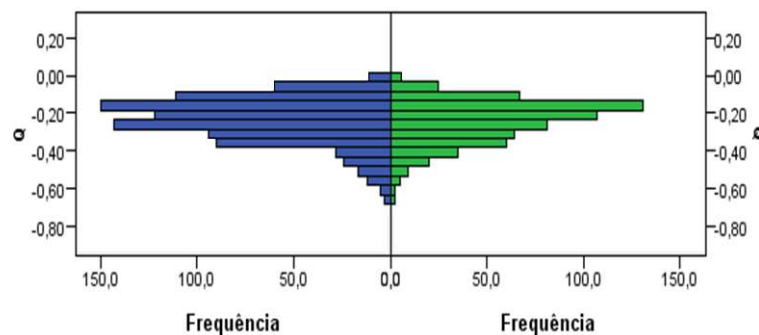
**Tabela 4.3** - Dados demográficos da amostra expressos em média $\pm$ DP. O valor p refere-se à significância estatística das diferenças dos vários parâmetros entre géneros (feminino e masculino)

Parâmetro	Feminino	Masculino	p
<b>n</b>	870 (58,6%)	614 (41,4%)	<b>&lt;0,001+</b>
<b>Idade (anos)</b>	$39,2 \pm 17,9$	$41,6 \pm 18,9$	
<b>M (D)</b>	$-0,20 \pm 1,55$	$-0,24 \pm 1,65$	0,481*
<b>J0 (D)</b>	$0,04 \pm 0,42$	$-0,02 \pm 0,42$	0,003*
<b>J45 (D)</b>	$-0,01 \pm 0,22$	$0,00 \pm 0,22$	0,399*
<b>Notação Clínica (D)</b>	$-0,16 - 0,08 \times 176^\circ$	$-0,22 - 0,05 \times 90^\circ$	
<b>Q</b>	$-0,24 \pm 0,12$	$-0,24 \pm 0,11$	0,424*
<b>MARK Qx (mm)</b>	$7,69 \pm 0,25$	$7,80 \pm 0,26$	<b>&lt;0,001*</b>
<b>J0<sub>ARK Qx</sub> (mm)</b>	$0,06 \pm 0,07$	$0,04 \pm 0,08$	<b>&lt;0,001*</b>
<b>J45<sub>ARK Qx</sub> (mm)</b>	$-0,01 \pm 0,04$	$0,00 \pm 0,04$	<b>0,005*</b>
<b>Notação Clínica (mm)</b>	$7,75 \times 175^\circ // 7,64 \times 85^\circ$	$7,84 \times 177^\circ // 7,76 \times 87^\circ$	

M: Esférico equivalente; J0: diferença na potência dióptrica entre o meridiano horizontal e vertical; J45: astigmatismo oblíquo. (\*) Teste U de Mann-Whitney (+) Teste qui-quadrado; Q: asfericidade corneal;

Relativamente à asfericidade e como podemos ver pela análise da tabela 4.3 verificamos que os valores encontrados em homens e mulheres são muito semelhantes, apresentando um valor médio na ordem dos -0,24 e com desvios-padrão semelhantes, não sendo estas diferenças estatisticamente significativas ( $p=0,424$ , Teste U de Mann-Whitney). Através da análise da figura 4.3 podemos verificar que na amostra existe uma maior frequência relativa de indivíduos com asfericidade entre -0,30 e -0,10, sendo que para valores superiores ou inferiores a estes a frequência relativa passa a ser inferior, mostrando-se menos frequente para valores de asfericidade mais negativos.

Como é possível observar novamente a partir da tabela 4.3 as componentes vetoriais da curvatura corneal ( $M_{ARK Qx}$ ,  $J0_{ARK Qx}$  e  $J45_{ARK Qx}$ ) mostraram diferenças estatisticamente significativas entre géneros ( $p<0,050$ , Teste U de Mann-Whitney). As variações observadas nestes componentes vetoriais mostram uma maior curvatura corneal para as mulheres e a presença de um astigmatismo à regra para ambos os géneros.



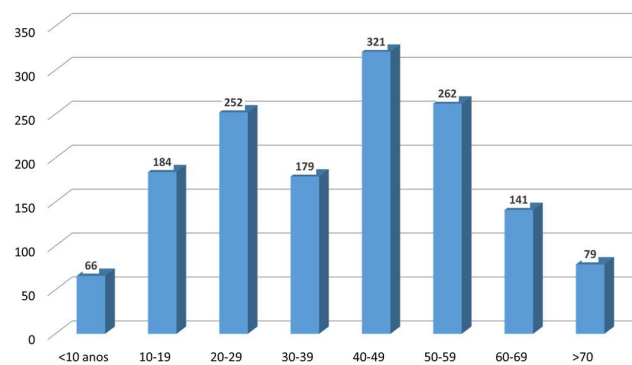
**Figura 4.3** - Frequência dos valores da asfericidade nos diferentes géneros (azul - 879 sujeitos do sexo masculino e verde - 614 sujeitos do sexo feminino)

#### 4.2.3 Análise por idade

Como observado na figura 4.4, esta amostra era constituída maioritariamente por sujeitos com idades entre os 40-49 anos, sendo que os grupos etários com menor número de sujeitos são aqueles em que os sujeitos apresentam idades inferiores aos 10 anos e superiores aos 70 anos. Além disso, esta amostra é ainda constituída por um grande número de sujeitos com idades compreendidas entre os 20-29 e os 50-59 anos.

No que diz respeito à variação do erro refrativo com a idade, verificou-se que as diferenças foram estatisticamente significativas ( $p<0,010$ , Teste Kruskal-Wallis) entre os diferentes grupos etários para os componentes vetoriais da refração M e J0. Para a componente vetorial M a tabela 4.4 mostra-nos a expressão de um valor médio emétrico até aos 10 anos, tendendo a diminuir até ao grupo etário dos 30-39 anos de tal

forma que os sujeitos apresentam em média valores miópicos nestas faixas etárias. No entanto, a partir dos 40 anos há uma inversão desta tendência aumentando o grau de hipermetropia para os grupos etários mais elevados. Relativamente à componente astigmática do erro refrativo, verificou-se uma diminuição estatisticamente significativa na componente J0 ( $p < 0,010$ , Teste Kruskal-Wallis) com a idade, sugerindo uma inversão na orientação do astigmatismo à regra para contra-a-regra, tal como se verifica e se pode observar na componente astigmática da notação clínica do erro refrativo. A componente vetorial que expressa o astigmatismo oblíquo da refração (J45) não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os vários grupos etários ( $p > 0,050$ , Teste Kruskal-Wallis).



**Figura 4.4** - Distribuição da amostra pelos vários grupos etários.

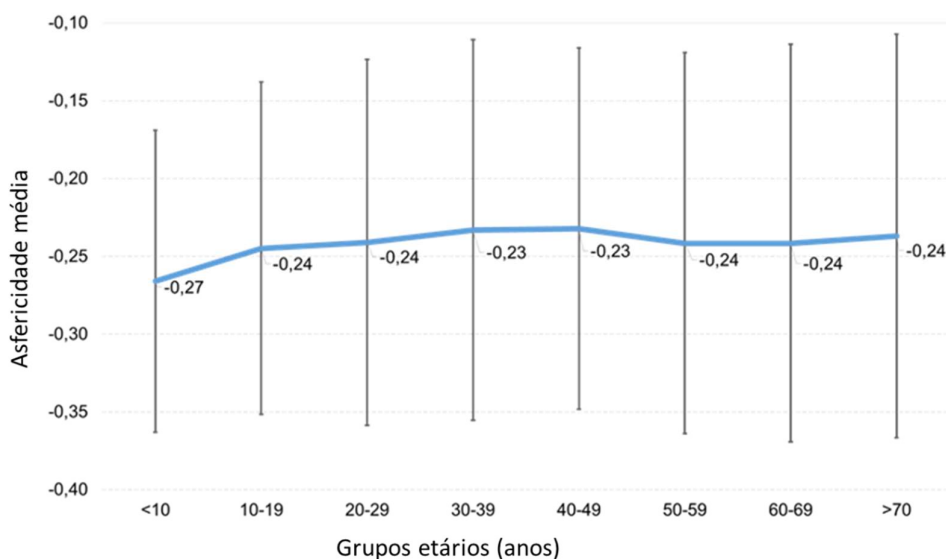
**Tabela 4.4** - Dados demográficos da amostra distribuídos pelos diferentes grupos etários. Os parâmetros apresentados dizem respeito ao erro refrativo e à asfericidade e curvatura corneal obtidas através do ARK 700

Parâmetro	<10 anos	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	≥70 anos	p
<b>n</b>	66 (4,4%)	184 (12,4%)	252 (17,0%)	179 (12,1%)	321 (21,6%)	262 (17,7%)	141 (9,5%)	79 (5,3%)	<0,001+
<b>Idade (anos)</b>	8,0±1,4	15,3±2,8	24,6±2,9	34,9±2,9	45,5±2,8	54,5±2,9	64,4±3,0	74,9±4,0	<0,001*
<b>M (D)</b>	0,04±0,72	0,66±1,66	0,71±1,77	0,78±1,48	0,25±1,34	0,22±1,43	0,65±1,43	0,68±1,80	<0,001*
<b>J0 (D)</b>	0,21±0,54	0,13±0,38	0,12±0,35	0,11±0,44	0,02±0,42	0,10±0,36	0,17±0,41	0,31±0,46	<0,001*
<b>J45 (D)</b>	0,03±0,11	0,01±0,20	0,02±0,23	0,01±0,26	0,02±0,23	0,02±0,20	0,01±0,20	0,03±0,24	0,053*
<b>Notação Clínica (D)</b>	+0,16-0,42x4°	-0,53-0,27x3°	-0,59-0,24x175°	-0,67-0,22x177°	-0,23-0,05x160°	+0,32-0,21x86°	+0,82-0,33x88°	+0,99-0,62x93°	
<b>Q</b>	0,27±0,10	0,24±0,11	0,24±0,12	0,23±0,12	0,23±0,12	0,24±0,12	0,24±0,13	0,24±0,13	0,268*
<b>M<sub>ARK Qx</sub> (mm)</b>	7,85±0,27	7,79±0,27	7,80±0,24	7,78±0,28	7,69±0,25	7,71±0,25	7,67±0,25	7,67±0,25	<0,001*
<b>J0<sub>ARK Qx</sub> (mm)</b>	0,08±0,10	0,08±0,06	0,07±0,07	0,07±0,07	0,05±0,07	0,02±0,07	0,01±0,06	0,01±0,06	<0,001*
<b>J45<sub>ARK Qx</sub> (mm)</b>	0,01±0,04	0,00±0,04	0,01±0,05	0,01±0,04	0,01±0,04	0,01±0,03	0,01±0,03	0,01±0,05	0,032*
<b>Notação Clínica (mm)</b>	7,92x3° 7,77x93°	7,87x179° 7,71x89°	7,87x177° 7,72x87°	7,85x177° 7,71x87°	7,74x174° 7,64x84°	7,73x172° 7,68x82°	7,69x161° 7,66x71°	7,69x114° 7,65x24°	

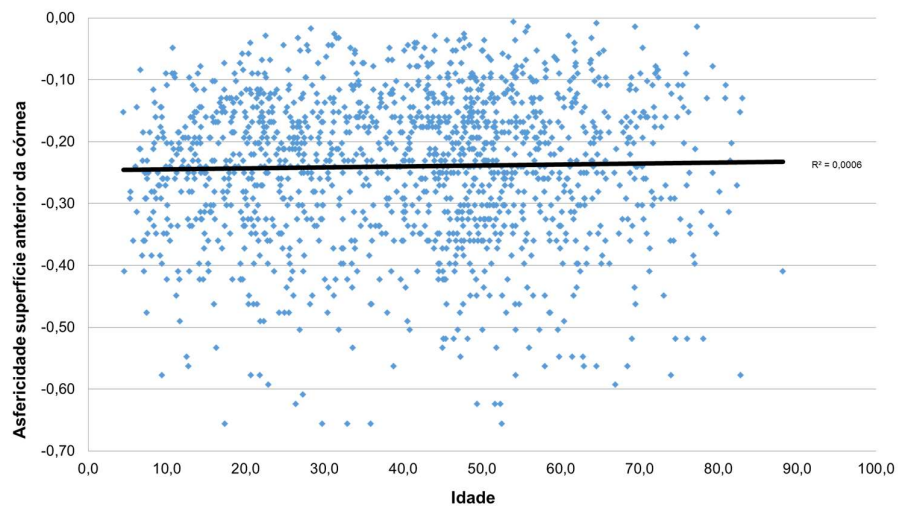
(\*) Teste Kruskal-Wallis, (+) Teste qui-quadrado, Q>1,00 entre grupos (Bonferroni)

Além das variações da refração, verificaram-se também variações na curvatura corneal com a idade. Como é possível observar novamente a partir da tabela 4.4 as componentes vetoriais da curvatura corneal ( $M_{ARK Qx}$ ,  $J0_{ARK Qx}$  e  $J45_{ARK Qx}$ ) mostraram diferenças estatisticamente significativas entre os vários grupos etários ( $p < 0,050$ , Teste de Kruskal-Wallis). As variações observadas nestes componentes vetoriais mostram a tendência para o aumento da curvatura corneal associada à diminuição dos raios de curvatura em ambos os meridianos e da passagem do astigmatismo à regra para um astigmatismo contra-a-regra, tal como se pode verificar pela variação dos valores referentes à notação clínica.

Tendo em conta a tabela 4.4 observamos que os valores de asfericidade corneal variam ligeiramente entre os diferentes grupos etários, mas essas diferenças não mostraram ser estatisticamente significativas ( $p > 0,268$ , Teste de Kruskal-Wallis, figura 4.5). Na figura 4.6 está representada a distribuição da asfericidade corneal de acordo com a idade dos sujeitos. Na figura é possível observar a existência de uma grande variabilidade da asfericidade corneal entre os sujeitos, independentemente da idade. De facto as duas variáveis (asfericidade corneal e idade) mostraram estar relacionadas de forma muito fraca e não significativa ( $r = 0,023$ ,  $p = 0,372$ , correlação de Spearman). A mesma análise é obtida quando a correlação é feita entre a asfericidade e os grupos etários ( $r = 0,026$ ,  $p = 0,315$ , correlação de Spearman).



**Figura 4.5** – Média e desvio padrão do valor da asfericidade da superfície anterior da córnea nos grupos etários.



**Figura 4.6** – Gráfico de dispersão dos valores da asfericidade da superfície anterior da córnea com a idade.

#### 4.2.4 Análise por grupos refrativos

Na tabela 4.5 são apresentados os dados relativos à refração subjetiva, asfericidade e curvatura corneal distribuídos pelos três grupos refrativos (míopes, emétopes e hipermetropes).

**Tabela 4.5** - Distribuição dos parâmetros refrativos e corneais pelos diferentes grupos refrativos. Os valores refrativos referem-se à refração subjetiva e os parâmetros corneais referem-se aos valores obtidos com o ARK 700

Parâmetro	Míopes	Emétopes	Hipermetropes	p
n	405 (27,3%)	784 (52,8%)	295 (19,9%)	<0,001+
Idade (anos)	36,4±17,4	37,0±16,9	54,0±17,0	<0,001*
M (D)	-1,97±1,75	+0,05±0,25	+1,49±0,99	<0,001*
J0 (D)	+0,09±0,60	+0,01±0,30	-0,08±0,41	<0,001*
J45 (D)	-0,01±0,32	+0,00±0,15	+0,01±0,21	0,188*
Notação Clínica (D)	-1,88-0,18x177°	+0,06-0,02x168°	+1,57-0,17x88°	
Q	-0,25±0,12	-0,24±0,12	-0,23±0,12	0,107*
M <sub>ARK Qx</sub> (mm)	7,73±0,28	7,75±0,26	7,72±0,24	0,108*
J0 <sub>ARK Qx</sub> (mm)	0,06±0,09	0,05±0,06	0,03±0,07	<0,001*
J45 <sub>ARK Qx</sub> (mm)	-0,01±0,05	-0,01±0,03	-0,01±0,04	0,827*
Notação Clínica (mm)	7,79x177° //	7,80x176° //	7,75x173°	
	7,66x87°	7,70x86°	//7,69x83°	

(\*) Teste Kruskal-Wallis, (+) Teste qui-quadrado, p>0,125 (Q) entre grupos (Bonferroni)

Neste subcapítulo verificamos que o grupo refrativo mais prevalente é a emetropia (784 sujeitos), correspondendo a mais de metade da amostra e a menos prevalente a hipermetropia (295 sujeitos).

A componente refrativa vetorial M apresenta valores negativos para os míopes, próximos do zero para os emétopes e positivos para os hipermetropes (ver tabela 4.5). Relativamente à componente vetorial que expressa o astigmatismo J0, encontramos maioritariamente um astigmatismo à regra para o grupo dos míopes e dos emétopes, e contra-a-regra para os hipermetropes. As diferenças encontradas entre os três grupos refrativos para estas duas componentes vetoriais da refração (M, J0) são estatisticamente significativas ( $p < 0,001$ , Teste Kruskal-Wallis).

Em relação à asfericidade, verificamos que não se encontram diferenças estatisticamente significativas ( $p > 0,05$ , Teste Kruskal-Wallis), sendo o valor médio a volta de -0,24 nos três diferentes grupos refrativos.

Verificamos que duas das componentes vetoriais da curvatura corneal ( $M_{ARK Qx}$  e  $J45_{ARK Qx}$ ) não mostraram diferenças estatisticamente significativas ( $p > 0,05$ , Teste Kruskal-Wallis) entre os grupos refrativos ainda que as diferenças encontradas na componente J0 sejam estatisticamente significativas ( $p < 0,050$ , Teste de Kruskal-Wallis). Pela notação clínica relativa à curvatura corneal, observamos que prevalece o astigmatismo à regra nos três grupos refrativos.

#### 4.2.5 Análise por orientação do astigmatismo corneal

Na tabela 4.6 estão representados os parâmetros da refração subjetiva, asfericidade e curvatura corneal distribuídos pelas três orientações do astigmatismo.

**Tabela 4.6** - Distribuição dos parâmetros refrativos e corneais pelos diferentes grupos refrativos. Os valores refrativos referem-se à refração subjetiva e os parâmetros corneais referem-se aos valores obtidos com o ARK 700

Parâmetro	Astigmatismo à regra	Astigmatismo oblíquo	Astigmatismo contra a regra	P
n	1079 (72,7%)	192 (12,9%)	213 (14,4%)	<0,001+
Idade (anos)	36,4±17,2	47,5±17,7	52,9±16,9	<0,001*
M (D)	-0,28±1,55	-0,23±1,89	0,13±1,44	0,001*
J0 (D)	0,13±0,37	-0,21±0,27	-0,39±0,46	<0,001*
J45 (D)	0,00±0,19	-0,05±0,36	0,02±0,21	<0,001*
Notação Clínica (D)	-0,15-0,26x180°	-0,02-0,43x97°	0,52-0,78x88°	
Q	-0,24±0,12	-0,23±0,12	-0,24±0,12	0,559*
$M_{ARK Qx}$ (mm)	7,75±0,26	7,72±0,26	7,72±0,26	0,144*
$J0_{ARK Qx}$ (mm)	0,08±0,06	0,00±0,02	-0,06±0,06	<0,001*
$J45_{ARK Qx}$ (mm)	0,00±0,03	-0,02±0,08	-0,01±0,03	<0,001*
Notação Clínica (mm)	7,82x178° // 7,67x88°	7,74x140° // 7,70x50°	7,77x94° // 7,66x4°	

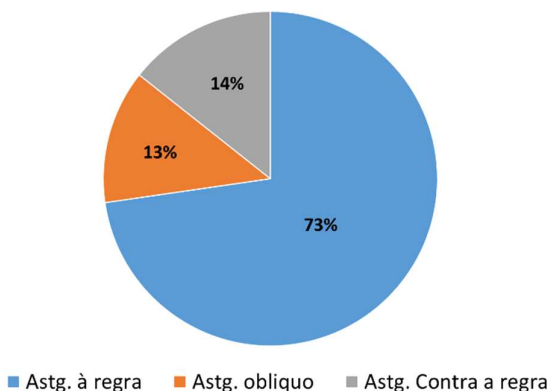
(\*) Teste Kruskal-Wallis, (+) Teste qui-quadrado,  $p > 0,906$  (Q) entre grupos (Bonferroni)

A análise da orientação do astigmatismo altera consoante a idade. O astigmatismo à regra é mais frequente numa faixa etária mais baixa, mudando de orientação com o aumento da idade média dos sujeitos, passando a expressar-se em astigmatismo contra-a-regra em idades superiores. Estas diferenças são estatisticamente significativas ( $p < 0,001$ , Teste Kruskal-Wallis).

Relativamente à componente refrativa vetorial M, verificamos que esta é negativa para os astigmatismos à regra e astigmatismos oblíquos e positiva para astigmatismos contra à regra, sendo que as diferenças entre as três orientações do astigmatismo são estatisticamente significativas ( $p < 0,010$ , Teste Kruskal-Wallis). As componentes J0 e J45 também apresentam significância estatística entre as três orientações do astigmatismo ( $p < 0,010$ , Teste Kruskal-Wallis), sendo que a componente J0 apresenta valores positivos para o astigmatismo à regra e negativos para astigmatismos contra-a-regra e a componente J45 apresenta valores negativos para astigmatismos contra-a-regra.

Analisando a asfericidade corneal, verificamos que esta não apresenta diferenças estatisticamente significativas ( $p > 0,050$ , Teste Kruskal-Wallis) entre as diferentes orientações do astigmatismo já que o valor apresentado para os três grupos é semelhante.

No que diz respeito aos valores de astigmatismo corneal obtidos com o ARK 700, a componente vetorial  $M_{ARK}$  não apresenta diferenças estatisticamente significativas entre os três grupos, ao contrario das componentes  $J0_{ARK}$  e  $J45_{ARK}$ , que apresentam diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,010$ , Teste Kruskal-Wallis). A componente  $J0_{ARK}$  revelou valores positivos para astigmatismos à regra. A figura 4.7 representa a distribuição do astigmatismo corneal segundo a sua orientação. Pela sua análise verificamos que o astigmatismo-à-regra é o mais frequente, estando presente em 73% dos sujeitos.



**Figura 4.7** – Prevalência do astigmatismo corneal de acordo com a sua orientação.

### 4.3 Estudo das alterações longitudinais da asfericidade

#### 4.3.1 Caracterização da amostra

No estudo das alterações longitudinais da asfericidade, a amostra era constituída por 190 olhos direitos de 118 sujeitos do sexo feminino (62,1%) e 72 do sexo masculino (37,9%). Os sujeitos apresentavam uma idade média de  $37,83 \pm 17,78$  anos. A amostra era constituída por 33 míopes (17,4%), 107 emétopes (56,3%) e 50 hipermétropes (26,3%).

#### 4.3.2 Descritivos gerais

A tabela 4.7 apresenta os dados relativos à refração, asfericidade e curvatura corneal da primeira consulta, da consulta após um período entre 5 e 10 anos e a diferença entre consultas.

**Tabela 4.7** - Parâmetros refrativos e corneais no estudo longitudinal da asfericidade. Os valores refrativos referem-se à refração subjetiva e os parâmetros corneais referem-se aos valores obtidos com o ARK 700

Parâmetro	Inicial	Final	Diferença	p
<b>M (D)</b>	$-0,15 \pm 1,33$	$-0,30 \pm 1,79$	$0,15 \pm 0,78$	<b>0,050*</b>
<b>J0 (D)</b>	$0,00 \pm 0,47$	$0,00 \pm 0,54$	$0,00 \pm 0,19$	0,821*
<b>J45 (D)</b>	$-0,01 \pm 0,20$	$0,00 \pm 0,24$	$-0,01 \pm 0,14$	0,843*
<b>Notação Clínica (D)</b>	$-0,14-0,02 \times 127^\circ$	$-0,30-0,01 \times 108^\circ$	$-0,16-0,01 \times 136^\circ$	
<b>Q</b>	$-0,25 \pm 0,11$	$-0,25 \pm 0,12$	$0,00 \pm 0,08$	0,813*
<b>M<sub>ARK Qx</sub> (mm)</b>	$7,75 \pm 0,26$	$7,75 \pm 0,26$	$0,00 \pm 0,03$	0,734+
<b>J0<sub>ARK Qx</sub> (mm)</b>	$0,04 \pm 0,08$	$0,04 \pm 0,08$	$0,00 \pm 0,05$	0,760*
<b>J45<sub>ARK Qx</sub> (mm)</b>	$-0,01 \pm 0,04$	$-0,01 \pm 0,04$	$0,00 \pm 0,03$	0,084*
<b>Notação Clínica (mm)</b>	$7,80 \times 175^\circ$	$7,80 \times 173^\circ$	$0,06 \times 14^\circ$	
	$7,71 \times 85^\circ$	$7,71 \times 83^\circ$	$0,06 \times 104^\circ$	

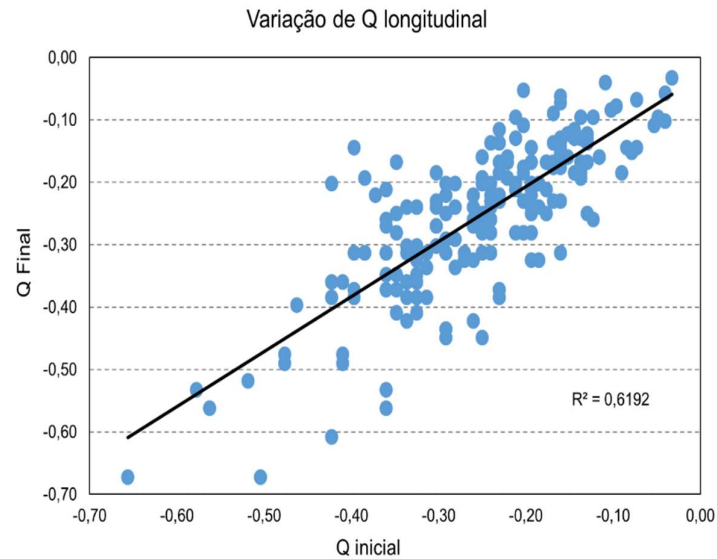
(\*) Wilcoxon, (+) test T de Student

Pela análise da tabela 4.7, verificamos que as diferenças encontradas para a refração subjetiva dos sujeitos, num período superior a 5 anos apenas foi estatisticamente significativa para a componente esférica M ( $p=0,050$ , Wilcoxon).

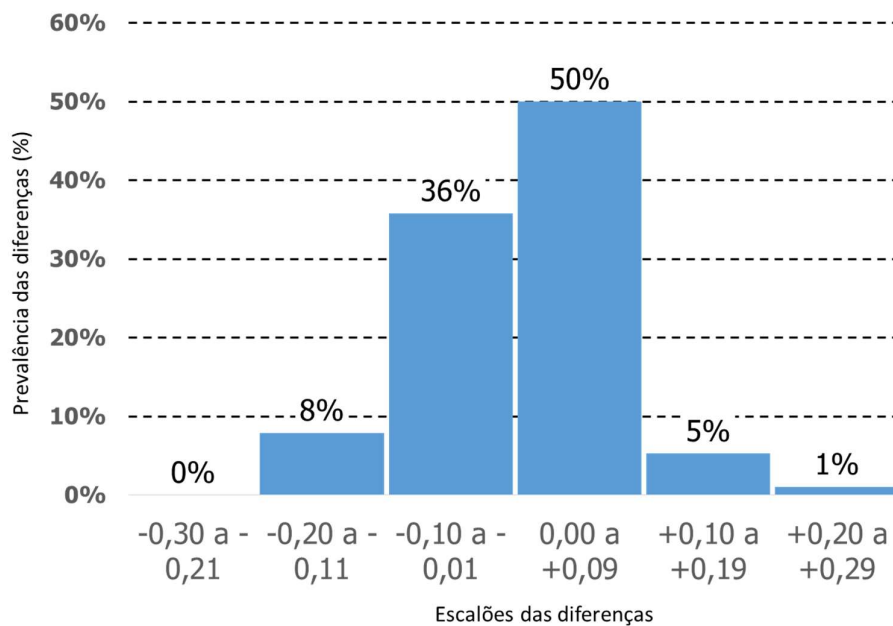
As figuras 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11 referem-se à variação da asfericidade entre as duas consultas realizadas (diferença de  $5,9 \pm 1,4$  [5 a 9 anos]). A tabela 4.7 mostra-nos não existir em média diferenças estatisticamente significativas ( $p>0,813$ , Wilcoxon) entre a asfericidade corneal da primeira consulta e a asfericidade corneal da consulta final. Isto está de acordo com a figura 4.8 na qual podemos observar que os dois valores de asfericidade corneal estão positiva e fortemente correlacionados ( $r=0,787$ , correlação de



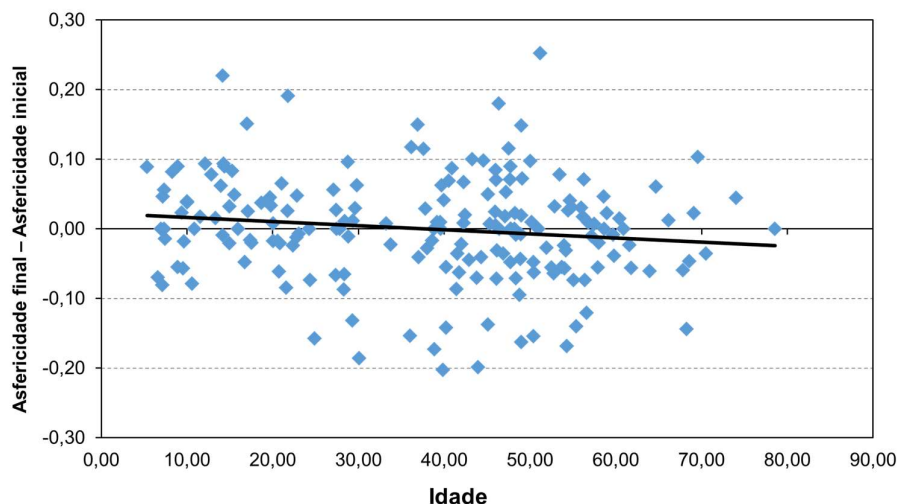
Spearman) e reforçado pela figura 4.9, onde se observa, através do histograma da distribuição das diferenças encontradas (final-inicial), que em 86% dos sujeitos as diferenças foram menores do que  $\pm 0,10$ .



**Figura 4.8** – Correlação dos valores da asfericidade encontradas na consulta inicial e final (após  $5,9 \pm 1,4$  anos).

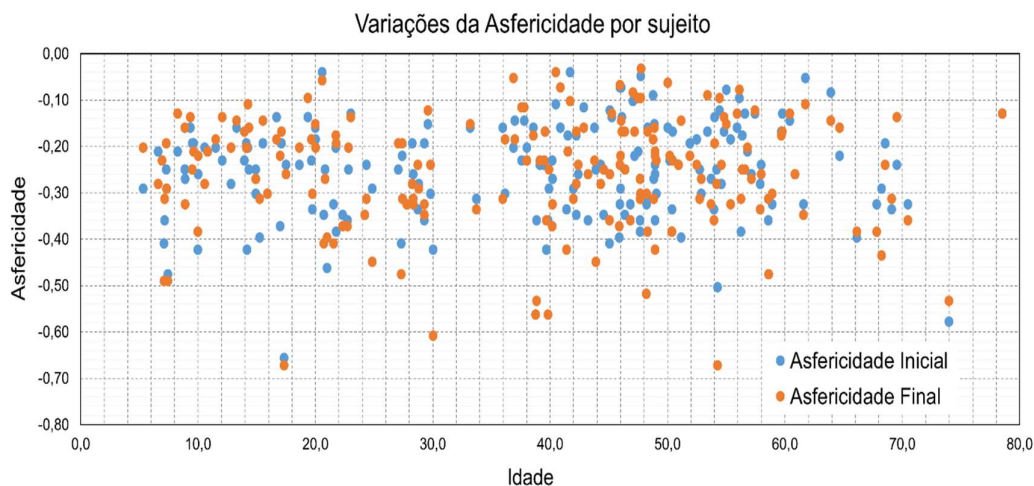


**Figura 4.9** - Histograma das variações da asfericidade entre a consulta inicial e a final.



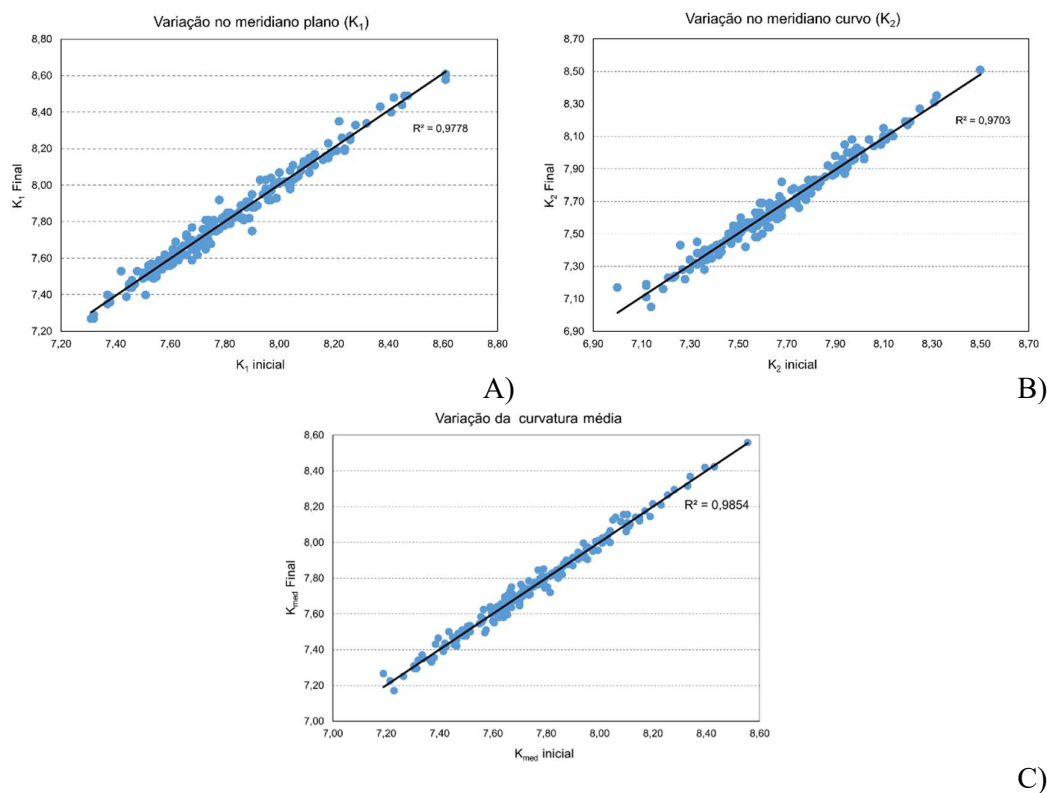
**Figura 4.10** - Gráfico das diferenças encontradas entre a consulta inicial e final para o valor da asfericidade em função da idade.

Uma análise mais detalhada pode ser observada na figura 4.10 onde as diferenças encontradas entre a consulta inicial e final para o valor da asfericidade em função da idade nos mostram uma ligeira diferença positiva (tendência para uma córnea mais oblata, asfericidade final mais positiva) em idades mais jovens e mais negativa nas idades mais avançadas (tendência para uma córnea mais prolata, asfericidade final mais negativa). Em concreto, essas diferenças podem ser visualizadas na figura 4.11, onde se mostra a asfericidade inicial e asfericidade final encontradas para os 190 sujeitos, entre a consulta inicial e final para o valor da asfericidade.



**Figura 4.11** - Gráfico das diferenças encontradas inter-sujeito, entre a consulta inicial e final para o valor da asfericidade em função da idade (nos casos onde os valores de asfericidade inicial e final são os mesmos apenas, na figura apenas é possível visualizar o último - laranja).

No que diz respeito à variação da curvatura corneal central no período estudado, não se verificaram alterações estatisticamente significativas ( $p > 0,084$ , teste Wilcoxon) em nenhuma das três componentes vetoriais da curvatura corneal (M, J0 e J45), sendo a notação clínica da queratometria inicial de  $7,80 \times 175^\circ // 7,71 \times 85^\circ$  e a queratometria final de  $7,80 \times 173^\circ // 7,71 \times 83^\circ$  (tabela 4.7). Tal como podemos observar pela figura 4.12, as variáveis de curvatura corneal inicial do meridiano plano (figura 4.12A) e do meridiano curvo (figura 4.12B) estão fortemente correlacionadas de forma positiva e estatisticamente significativa ( $r > 0,992$ ,  $p < 0,001$ , correlação de Spearman) com as respetivas variáveis de curvatura corneal final. Verifica-se a mesma tendência para a curvatura média inicial e final ( $r > 0,992$ ,  $p < 0,001$ , correlação de Spearman) tal como se pode observar na figura 4.12C.



**Figura 4.12** - Gráfico das correlações da curvatura corneal central entre a consulta inicial e final. A) Valores do meridiano mais plano, B) valores do meridiano mais curvo e C) valores da média dos meridianos curvo e plano.

## 5. DISCUSSÃO

Neste capítulo será feita a discussão dos resultados obtidos, comparando-os com os resultados obtidos por outros autores em trabalhos anteriores.

Este capítulo está dividido da mesma forma que os resultados, em três subcapítulos.

Este trabalho distingue-se dos já realizados por permitir, num só trabalho, conhecer as variações longitudinais da asfericidade corneal, do erro refrativo e da curvatura corneal, baseando-se na medida da asfericidade corneal obtida por um autorrefratômetro queratômetro anteriormente validado por um topógrafo corneal neste trabalho. Para além desta análise longitudinal, estudou-se também de que forma a asfericidade corneal é afetada por diferentes fatores.

### 5.1 Validação da medida da asfericidade com o autorrefratômetro-queratômetro NIDEK ARK 700A

Neste estudo, o valor médio da asfericidade obtido com o autorrefratômetro-queratômetro NIDEK 700A foi de  $-0,24 \pm 0,12$ , estando próximo de  $-0,23 \pm 0,08$ , sendo este o valor médio de asfericidade referido por vários autores na literatura para jovens adultos. [5,28-34,37-41] González-Méijome *et al.* (2004) encontraram com o autorrefratômetro-queratômetro NIDEK ARK 700A valores de excentricidade média de 0,48. [41] A conversão deste valor para asfericidade ( $Q=-0,23$ ) é semelhante ao valor encontrado neste estudo com o mesmo instrumento ( $Q=-0,24 \pm 0,12$ ) apesar de serem populações diferentes e com idades diferentes.

O valor de asfericidade obtido com o topógrafo MODI 2.0 foi diferente para diferentes zonas da córnea, tornando-se mais negativa à medida que a distância ao centro corneal era maior. Esta tendência foi também observada por González-Méijome *et al.* em 2007 em indivíduos com astigmatismos superiores a 1,00D, num estudo cujo objetivo era medir a asfericidade corneal anterior para diferentes diâmetros corneais, com o videoqueratoscópio Medmont E300. [30] Num trabalho de Read *et al.* (2006), encontraram-se valores de asfericidade média de  $-0,19 \pm 0,10$  para um diâmetro corneal de 6mm, sendo este valor igual ao encontrado neste trabalho para o mesmo diâmetro corneal. Read *et al.* referem ainda que para um diâmetro corneal de 10mm, o valor de asfericidade encontrado foi de -0,36, o que é expectável dado a aplanção observada na córnea normal (que define a sua asfericidade), particularmente no seu meridiano mais plano será maior quanto mais periféricas sejam as medidas de referência obtidas para o cálculo da asfericidade. [93] Anos antes de Read *et al.*, já outros autores tinham encontrado valores semelhantes aos reportados neste trabalho, para um diâmetro corneal de 6mm e com um videoqueratoscópio. [54,94]

O valor obtido para a curvatura corneal central média (queratometria média) foi muito semelhante com os dois instrumentos, encontrando-se ambos os valores dentro do intervalo de valores referidos por vários autores para a curvatura corneal média de 7,68mm a 7,85mm. [33,38,54,94,95] Verificamos também que estes dois instrumentos estão fortemente correlacionados ( $r > 0,750$ ,  $p < 0,010$ ) e tal como encontrado no trabalho de González-Méijome *et al.* (2007), o autorrefratómetro-queratómetro apresenta valores de curvatura corneal média mais planos do que o videoqueratoscópio, embora sem significado nem estatístico e nem clínico. [30]

Analizando os valores obtidos com os dois instrumentos, verificamos que o valor da asfericidade com o autorrefratómetro-queratómetro NIDEK 700A era mais concordante com o valor da asfericidade a 7mm de diâmetro obtido com o topógrafo MODI 2.0. Além disso, quando comparados os valores de asfericidade entre estes dois instrumentos as diferenças são apenas estatisticamente significativas para diâmetros corneais de 6,0mm e 6,5mm, contrariamente ao que acontece para o diâmetro corneal de 7mm. Isto sugere que os valores da asfericidade corneal obtidos com o NIDEK 700A poderão estar referidos a um diâmetro corneal de 7mm, o que dificulta as comparações entre instrumentos. A mesma dificuldade de comparação destas medidas entre instrumentos semelhantes tinha já sido reportada por González-Méijome *et al.*, [89] onde

os autores referem que em termos centrais as diferenças podem ser comparáveis, embora no que toca a determinações periféricas as mesmas se encontrem dentro de uma região elíptica entre os 5 a 7mm com o seu maior eixo na vertical e não em círculos (diâmetros) como apresentado neste e noutros trabalhos. No entanto, a análise realizada neste trabalho de tese torna-se pertinente igualmente pois múltiplos dispositivos amplamente utilizados referem os valores de asfericidade ou excentricidade para regiões circulares ou áreas concêntricas à volta da zona central.

Relativamente às diferenças encontradas para as componentes vetoriais da curvatura corneal entre os dois instrumentos, verificamos que estas foram baixas para as três componentes estudadas e apenas estatisticamente significativas para M e J45. Tendo em conta a notação clínica, a diferença encontrada na curvatura corneal entre os dois instrumentos foi de 0,03 mm, o que clinicamente não é significativo uma vez que uma diferença de 0,05mm na curvatura corneal corresponderia a uma diferença de 0,25D, o que é considerado dentro das próprias margens de erro dos instrumentos e dentro dos limites clinicamente aceitáveis. O mesmo foi verificado num trabalho de Kobashi *et al.*, onde o autorrefratómetro-queratómetro NIDEK 700A apresentou valores inferiores para as componentes vetoriais da curvatura corneal J0 e J45 comparativamente ao topógrafo corneal Atlas (ZEISS) e o valor obtido para a curvatura corneal média com o NIDEK 700A, relativamente ao topógrafo corneal Atlas foi superior. [96]

## 5.2 Análise transversal dos fatores que afetam a superfície corneal

Relativamente à análise por **género**, encontramos valores de asfericidade muito semelhantes para homens e mulheres, na ordem dos -0,24 já referido e com valores de desvio padrão muito semelhantes, não sendo estas diferenças estatisticamente significativas ( $p=0,424$ , Teste U de Mann-Whitney). Este resultado está de acordo com outros trabalhos realizados. [67,97] Verificamos também neste trabalho, uma maior frequência relativa de indivíduos com asfericidade entre -0,10 e -0,30, estando este intervalo de valores dentro do intervalo de valores referidos por outros autores. [29-33] As diferenças encontradas nas componentes vetoriais da curvatura corneal mostraram-se

estatisticamente significativas e a componente vetorial que representa a curvatura corneal média (M) mostrou que os homens possuem córneas mais planas do que as mulheres, ainda que estas diferenças não sejam clinicamente significativas. Estes resultados estão em concordância com os de Matsuda *et al.* num estudo publicado em 1992 efetuado em sujeitos asiáticos e caucasianos, onde também observaram que a curvatura corneal dos homens era menor do que a das mulheres.[98] Esta tendência foi também observada por Kiely *et al.*[99] e Goto *et al.*[100] em populações com um intervalo de idades semelhantes ao deste trabalho.

O erro refrativo apresenta diferenças estatisticamente significativas para a componente J0 entre ambos os géneros, sendo mais negativo em homens do que em mulheres, ainda que, tal como podemos ver pela expressão da notação clínica, as diferenças não tem relevância clínica.

A amostra era constituída maioritariamente por sujeitos com idades compreendidas entre os 20 e os 60anos e sujeitos com idades inferiores a 10anos e superiores a 70anos estavam presentes na amostra em menor número. A variação do erro refrativo com a **idade** apresentou diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,010$ ) para as componentes refrativas M e J0, sendo que a componente refrativa M apresentou uma tendência para a hipermetropia no grupo etário inferior a 10anos, havendo depois uma inversão para a miopia até à faixa etária 40-49anos. A partir desta idade verifica-se uma nova inversão para valores positivos de erro refrativo. Esta variação do erro refrativo com a idade foi também observada por Jorge *et al.* [101] e Gudmundsdottir E. *et al.*[102] Verificou-se também uma diminuição estatisticamente significativa na componente J0 ( $p < 0,010$ ) com a idade e tal como se pode verificar pela componente astigmática da notação clínica do erro refrativo há uma inversão na orientação do astigmatismo à regra para contra-a-regra em idades mais avançadas, indo ao encontro do que é referido na literatura por vários autores. [19,62,103,104] As componentes vetoriais da curvatura corneal apresentaram diferenças estatisticamente significativas para as diferentes faixas etárias, mostrando um aumento da curvatura corneal em idades mais avançadas e tal como se referiu anteriormente uma inversão na orientação do astigmatismo de à regra para contra a regra. [62,100,105]

Analisando a asfericidade corneal, verificamos que a mesma apresenta valores ligeiramente diferentes entre os diferentes grupos etários, ainda que estas diferenças não apresentem significância estatística ( $p = 0,268$ ) e como podemos verificar pela análise da figura 4.4, existe uma grande variabilidade de asfericidade corneal entre os sujeitos. Kiely

*et al.*[54] e Guillon *et al.*[38] referiram dados semelhantes nos seus trabalhos, mas por outro lado Scholz *et al.*[67] encontraram diferenças estatisticamente significativas para a asfericidade corneal nos diferentes grupos etários, ainda que tenham também encontrado uma fraca correlação entre a asfericidade e a idade.

As diferenças encontradas na asfericidade corneal em relação ao **erro refrativo** não foram estatisticamente significativas, sendo o valor de asfericidade encontrado para as diferentes ametropias muito semelhante, apesar de se ter mostrado mais negativo em míopes e menos negativo em hipermetropes. Estes diferentes valores de asfericidade corneal para os três grupos refrativos, sem significância estatística, foram também encontrados por Sheridan and Douthwaite [106] e Budak *et al.* [72] Carney *et al.* encontraram valores de asfericidade mais positivos em míopes altos do que em míopes baixos ou emétopes. [95] Scholz *et al.* [67] e Llorente *et al.* [56] referiram no seu trabalho, diferenças estatisticamente significativas na asfericidade corneal de emétopes e hipermetropes, assim como entre míopes e hipermetropes, sendo que observaram valores de asfericidade corneal mais negativo em míopes e menos negativos em hipermetropes.

A componente vetorial da curvatura corneal que representa a curvatura corneal média (M), ainda que não apresente diferenças estatisticamente significativas para os diferentes grupos refrativos, mostrou-se maior para o grupo dos emétopes, indicando-nos que as córneas destes sujeitos são mais planas relativamente às córneas dos míopes e dos hipermetropes. Esta mesma conclusão foi obtida por Scholz *et al.*, que referiu também a existência de córneas mais curvas em míopes do que em hipermetropes, o que não se verificou neste trabalho uma vez que a componente vetorial M apresenta valores maiores para os míopes, indicando que a córnea destes é mais plana do que a córnea dos hipermetropes. [67]

Llorent *et al.* apenas estudaram as diferenças entre míopes e hipermetropes verificando a mesma tendência para os míopes apresentarem córneas mais curvas do que os hipermetropes, não apresentando estas diferenças significância estatística. [56]

A **orientação do astigmatismo corneal** apresenta diferenças estatisticamente significativas consoante a idade, sendo que tal como já foi visto anteriormente, o astigmatismo contra a regra manifesta-se predominantemente numa média de idades mais elevada. [62,100]

As três componentes vetoriais da refração apresentam diferenças estatisticamente significativas para as diferentes orientações do astigmatismo corneal. A componente



vetorial J0, que representa as diferenças no poder dióptrico entre o meridiano horizontal e o meridiano vertical, apresentou valores positivos para o astigmatismo à regra e negativos para o astigmatismo contra à regra, tal como seria de esperar. [91]

As componentes vetoriais da curvatura corneal apresentam diferenças estatisticamente significativas para a componente vetorial J0 e J45, não mostrando diferenças estatisticamente significativas para a componente M.

É referido por Chan *et al.* [107], num trabalho de 2011, que a asfericidade corneal apresenta valores mais negativos no meridiano mais plano, assim como num trabalho de González-Méijome *et al.* [30] Este dado é uma consequência do facto de que, para se calcular a asfericidade é necessário tomar uma referência da curvatura central e outra periférica num dado meridiano ou região da córnea. Como o ponto central de referência é igual ou aproximadamente igual, e na periferia o meridiano mais plano tem um raio de curvatura maior do que no meridiano curvo, rapidamente se conclui que a asfericidade no meridiano plano será mais negativa. Em 2006 Kiely *et al.* [54], não encontraram valores de asfericidade significativamente diferentes entre os meridianos principais e referiram também que o raio corneal era maior no meridiano horizontal, não encontrando portanto uma relação direta entre a asfericidade e a orientação do astigmatismo. Em 2011, Zhang *et al.* analisaram 1052 olhos não encontrando diferenças estatisticamente significativas para a asfericidade no meridiano horizontal e vertical. [108]

Neste trabalho verificamos também que asfericidade corneal para as diferentes orientações do astigmatismo corneal não apresenta diferenças estatisticamente significativas.

### 5.3 Análise das alterações longitudinais da asfericidade

Verificaram-se diferenças estatisticamente significativas para a componente vetorial da refração (M) entre a consulta inicial e a consulta final, mostrando que na consulta final os valores eram mais negativos, ainda que verificando pela notação clínica, esta diferença é muito pequena, não mostrando, portanto, significância clínica. Estes achados vão de encontro aos resultados encontrados por Jorge *et al.* [101], num trabalho realizado numa população universitária portuguesa durante 3 anos, onde encontraram

também diferenças estatisticamente significativas para a componente vetorial M, com uma tendência para um aumento da miopia ao longo do tempo, sendo esta tendência documentada por vários autores na literatura. [109-113]

As diferenças encontradas para a curvatura corneal não foram estatisticamente significativas entre a primeira e a segunda consulta com uma diferença média de aproximadamente 5 anos, para as três componentes vetoriais, tendo-se encontrado o mesmo valor e o mesmo desvio padrão para as duas consultas diferentes. O mesmo se verificou no trabalho de Jorge *et al.* onde encontraram também iguais valores de curvatura corneal média entre duas consultas com um período de três anos entre elas. [101] Resultados semelhantes foram encontrados também por Horner *et al.* que concluem que a contribuição da córnea no incremento da miopia é insignificante em termos da sua curvatura média.[109]

A variação da asfericidade corneal também não mostrou diferenças com significância estatisticamente entre a primeira e a segunda consulta e apoiando-nos na figura 4.8 verificamos que os valores da asfericidade da primeira e da segunda consulta estão fortemente correlacionados, de forma positiva ( $r=0,787$ , correlação de Spearman) e analisando também a figura 4.9, podemos verificar através do histograma da distribuição das diferenças encontradas (final-inicial), que só em apenas 14% dos sujeitos as diferenças foram maiores do que  $\pm 0,11$  de alteração na asfericidade. Apesar dos 86% terem alterações inferiores a  $\pm 0,10$  na asfericidade, torna-se evidente em termos clínicos a implicação desta alteração em termos visuais, dependendo do diâmetro pupilar dos pacientes e em concreto da sua visão noturna, quando não são compensados corretamente. O trabalho de Calossi (2007) mostra-nos que em função do tamanho do diâmetro pupilar dos pacientes estas alterações podem ter implicações em termos da aberração esférica do olho de  $\pm 0,09D$ ,  $\pm 0,28D$  e  $\pm 0,60D$  respetivamente para pupilas de 3, 5 e 7mm. [28] Recorrendo novamente aos dados obtidos por Jorge *et al.* e em específico para as alterações ocorridas longitudinalmente na córnea, a excentricidade foi o único parâmetro, onde houve uma diferença estatisticamente significativa entre as duas consultas com um período de 3 anos entre elas, havendo uma tendência para que a córnea se tornasse mais prolata.[101] Os resultados encontrados neste trabalho, relativamente à variação longitudinal da asfericidade estão de acordo com os resultados de Parssinen, que não encontraram diferenças estatisticamente significativas na asfericidade, num estudo de três anos em crianças em idade escolar. [114] Um trabalho realizado por Hashemi *et al.* numa

população com uma média de idades mais elevada mostrou diferenças estatisticamente significativas para a asfericidade corneal entre consultas com um intervalo de 5 anos, mostrando a existência de córneas mais prolatas na segunda consulta. [115]

## 6. CONCLUSÕES

- ✓ Correlação significativa moderadamente forte e positiva entre o autorrefratómetro-queratómetro NIDEK ARK 700A para os valores obtidos de curvatura corneal e asfericidade.
- ✓ Valores de curvatura corneal média mais superiores quando obtidos com autorrefratómetro-queratómetro NIDEK ARK 700A relativamente ao topógrafo corneal MODI 2.0, mas sem significância clínica nem estatística.
- ✓ Valores de asfericidade obtidos com autorrefratómetro-queratómetro NIDEK 700A foram semelhantes aos obtidos com topógrafo MODI 2.0 para um diâmetro corneal de 7mm.
- ✓ Asfericidade mais negativa em zonas mais periféricas da córnea.
- ✓ Diferença de género não influencia o erro refrativo nem a asfericidade.
- ✓ Curvatura corneal superior em mulheres do que em homens.
- ✓ Astigmatismo à regra é o mais predominante em ambos os géneros.
- ✓ Inversão do erro refrativo para miopia até cerca dos 40 anos, havendo novamente inversão para valores de hipermetropia a partir dessa idade.
- ✓ Inversão de astigmatismo à regra para contra à regra em idades mais avançadas, por aumento da curvatura corneal.
- ✓ Asfericidade corneal não apresenta diferenças estatisticamente significativas com a idade, género, erro refrativo e orientação do astigmatismo corneal.
- ✓ Longitudinalmente não se verificaram alterações estatisticamente significativas para o erro refrativo, curvatura corneal e asfericidade corneal.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. Inagaki Y (1986) The rapid change of corneal curvature in the neonatal period and infancy. Arch Ophthalmol 104: 1026-1027.
2. Mutti DO, Mitchell GL, Sinnott LT, Jones-Jordan LA, Moeschberger ML, et al. (2012) Corneal and crystalline lens dimensions before and after myopia onset. Optom Vis Sci 89: 251-262.
3. Seddon JM, Sahagian CR, Glynn RJ, Sperduto RD, Gragoudas ES (1990) Evaluation of an iris color classification system. The Eye Disorders Case-Control Study Group. Invest Ophthalmol Vis Sci 31: 1592-1598.
4. Rio-Cristobal A, Martin R (2014) Corneal assessment technologies: current status. Surv Ophthalmol 59: 599-614.
5. Fredin P (2013) Correlation between Corneal Radius of Curvature and Corneal Eccentricity.
6. Rufer F, Schroder A, Erb C (2005) White-to-white corneal diameter: normal values in healthy humans obtained with the Orbscan II topography system. Cornea 24: 259-261.
7. Standring (2010) Gray's anatomia 40a edição: Elsevier Brasil.

8. González-Méijome JM (2005) Contactologia; González-Meijome JM, editor: José Manuel González-Meijome. 588 p.
9. Kanski JJ, Bowling B (2016) Kanski Oftalmologia Clínica: Uma abordagem sistêmica: Elsevier Brasil.
10. Zavala J, Lopez Jaime GR, Rodriguez Barrientos CA, Valdez-Garcia J (2013) Corneal endothelium: developmental strategies for regeneration. Eye (Lond) 27: 579-588.
11. Lens A, Nemeth SC, Ledford JK (2008) Ocular Anatomy and Physiology: SLACK.
12. Gartner LP, Hiatt JL (2006) Color Textbook of Histology: Elsevier Health Sciences.
13. Johnson DH, Bourne WM, Campbell RJ (1982) The ultrastructure of Descemet's membrane. I. Changes with age in normal corneas. Arch Ophthalmol 100: 1942-1947.
14. Matt N, Dupe V, Garnier JM, Dennefeld C, Chambon P, et al. (2005) Retinoic acid-dependent eye morphogenesis is orchestrated by neural crest cells. Development 132: 4789-4800.
15. Graue-Weichers L, Valdez-Garcia J, Ramirez-Luquín T, Claros A (1989) Densidad celular endotelial. Estudio en población general de la Ciudad de México. Rev Mex Oftalmol 63: 5.
16. González-Méijome JM, Jorge J, Queiros A, Peixoto-de-Matos SC, Parafita MA (2010) Two single descriptors of endothelial polymegethism and pleomorphism. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 248: 1159-1166.

17. Schoessler JP, Orsborn GN (1987) A theory of corneal endothelial polymegethism and aging. *Curr Eye Res* 6: 301-306.
18. Roszkowska AM, Colosi P, D'Angelo P, Ferreri G (2004) Age-related modifications of the corneal endothelium in adults. *Int Ophthalmol* 25: 163-166.
19. Holden BA, Sweeney DF, Vannas A, Nilsson KT, Efron N (1985) Effects of long-term extended contact lens wear on the human cornea. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 26: 1489-1501.
20. Holden BA, Vannas A, Nilsson K, Efron N, Sweeney D, et al. (1985) Epithelial and endothelial effects from the extended wear of contact lenses. *Curr Eye Res* 4: 739-742.
21. Lee JS, Oum BS, Choi HY, Lee JE, Cho BM (2006) Differences in corneal thickness and corneal endothelium related to duration in diabetes. *Eye (Lond)* 20: 315-318.
22. Lee JS, Lee JE, Choi HY, Oum BS, Cho BM (2005) Corneal endothelial cell change after phacoemulsification relative to the severity of diabetic retinopathy. *J Cataract Refract Surg* 31: 742-749.
23. Edelhauser HF, Sanders DR, Azar R, Lamielle H, Group ICLiToMS (2004) Corneal endothelial assessment after ICL implantation. *J Cataract Refract Surg* 30: 576-583.
24. Helmholtz Hv Helmholtz's treatise on physiological optics. In: America ROSo, editor. translated from the 3rd German ed Southall JPC. pp. 1924-1925.
25. Placido A (1882) Neue Instrumente. *Centralbl Prakt Augenheilkd* 6: 1.

26. authors N (1999) Corneal topography. American Academy of Ophthalmology. Ophthalmology 106: 1628-1638.
27. Ophthalmology AA, Reidy JJ (2012) Enfermedades de superficie ocular y córnea. 2011-2012: Sección 8: Elsevier Health Sciences Spain.
28. Calossi A (2007) Corneal asphericity and spherical aberration. J Refract Surg 23: 505-514.
29. Mandell RB (1992) Everett Kinsey Lecture. The enigma of the corneal contour. CLAO J 18: 267-273.
30. González-Méijome JM, Villa-Collar C, Montes-Mico R, Gomes A (2007) Asphericity of the anterior human cornea with different corneal diameters. J Cataract Refract Surg 33: 465-473.
31. Townsley M (1970) New knowledge of the human cornea. Contacto 14: 5.
32. Holmes-Higgin DK, Baker PC, Burris TE, Silvestrini TA (1999) Characterization of the aspheric corneal surface with intrastromal corneal ring segments. J Refract Surg 15: 520-528.
33. Eghbali F, Yeung KK, Maloney RK (1995) Topographic determination of corneal asphericity and its lack of effect on the refractive outcome of radial keratotomy. Am J Ophthalmol 119: 275-280.
34. Yebra-Pimentel E, Gonzalez-Jeijome JM, Cervino A, Giraldez MJ, Gonzalez-Perez J, et al. (2004) [Corneal asphericity in a young adult population. Clinical implications]. Arch Soc Esp Oftalmol 79: 385-392.



35. Maldonado López M, Nieto Fernández J Cap. 5 - Topografía de la ectasia corneal. Topografía corneal y aberrometría. pp. 45.
36. Pinero DP, Nieto JC, Lopez-Miguel A (2012) Characterization of corneal structure in keratoconus. J Cataract Refract Surg 38: 2167-2183.
37. Mandell R, StHelen R (1971) Mathematical model of the corneal contour. Br J Physiol Opt 26: 5.
38. Guillon M, Lydon DP, Wilson C (1986) Corneal topography: a clinical model. Ophthalmic Physiol Opt 6: 47-56.
39. Patel S, Marshall J, Fitzke FW (1993) Shape and radius of posterior corneal surface. Refract Corneal Surg 9: 173-181.
40. Lam AK, Douthwaite WA (1997) Measurement of posterior corneal asphericity on Hong Kong Chinese: a pilot study. Ophthalmic Physiol Opt 17: 348-356.
41. Trujillo MU, Velez JP, Orjuela L, Guerrero D, Trespalacios E (2011) Caracterización del Perfil de asfericidad corneal en pacientes atendidos en un centro de cirugía refractiva de la ciudad de Medellín en el periodo 2008-2009. Rev Sociedad Colombiana de Oftalmología 44: 11.
42. Buch H, Vesti Nielsen N (2000) Keratopathy and pachymetric changes after photorefractive keratectomy and vitrectomy with silicone oil injection. J Cataract Refract Surg 26: 1078-1081.
43. Henson DB (1983) Keratometers: Optometric Instrumentations: Butterworths.

44. Goss DA, Eskridge JB (1991) *Keratometry: Clinical Procedures in Optometry*: Philadelphia, J. B. Lippincott.
45. Carvalho LA (2005) Técnicas para facilitar o diagnóstico da topografia da córnea in vivo. *Arq Bras Oftalmol* 68: 8.
46. Gutmark R, Guyton DL (2010) Origins of the keratometer and its evolving role in ophthalmology. *Surv Ophthalmol* 55: 481-497.
47. Kaschke M, Donnerhacke KH, Rill MS (2013) *Optical Devices in Ophthalmology and Optometry: Technology, Design Principles and Clinical Applications*: Wiley.
48. Placido A (1880) Novo instrumento de exploração da córnea. *Periodico d'oftalmologia Pratica* 5: 4.
49. Maguire LJ, Singer DE, Klyce SD (1987) Graphic presentation of computer-analyzed keratoscope photographs. *Arch Ophthalmol* 105: 223-230.
50. Mejia-Barbosa Y, Malacara-Hernandez D (2001) A review of methods for measuring corneal topography. *Optom Vis Sci* 78: 240-253.
51. Rabinowitz YS, Yang H, Brickman Y, Akkina J, Riley C, et al. (1996) Videokeratography database of normal human corneas. *Br J Ophthalmol* 80: 610-616.
52. Agarwals (2006) *Step by Step Corneal Topography*: Jaypee Brothers, Medical Publishers.
53. Mandell RB (1996) A Guide to Videokeratography. *ICLC* 23: 24.

54. Kiely P, Smith G, Carney LG (1982) The mean shape of the human cornea OPTICA ACTA 29: 15.
55. Dubbelman M, Sicam VA, Van der Heijde GL (2006) The shape of the anterior and posterior surface of the aging human cornea. Vision Res 46: 993-1001.
56. Llorente L, Barbero S, Cano D, Dorronsoro C, Marcos S (2004) Myopic versus hyperopic eyes: axial length, corneal shape and optical aberrations. J Vis 4: 288-298.
57. Pop M, Payette Y (2004) Correlation of wavefront data and corneal asphericity with contrast sensitivity after laser in situ keratomileusis for myopia. J Refract Surg 20: S678-684.
58. Walline JJ, Jones LA, Sinnott LT (2009) Corneal reshaping and myopia progression. Br J Ophthalmol 93: 1181-1185.
59. Du CX, Shen Y, Wang Y (2007) Comparison of high order aberration after conventional and customized ablation in myopic LASIK in different eyes of the same patient. J Zhejiang Univ Sci B 8: 177-180.
60. Villa C, Gutierrez R, Jimenez JR, González-Méijome JM (2007) Night vision disturbances after successful LASIK surgery. Br J Ophthalmol 91: 1031-1037.
61. Santolaria Sanz E, Cervino A, Queiros A, Villa-Collar C, Lopes-Ferreira D, et al. (2015) Short-term changes in light distortion in orthokeratology subjects. Biomed Res Int 2015: 278425.
62. Hayashi K, Hayashi H, Hayashi F (1995) Topographic analysis of the changes in corneal shape due to aging. Cornea 14: 527-532.

63. Ninn-Pedersen K (1996) Relationships between preoperative astigmatism and corneal optical power, axial length, intraocular pressure, gender, and patient age. *J Refract Surg* 12: 472-482.
64. Lam AK, Chan CC, Lee MH, Wong KM (1999) The aging effect on corneal curvature and the validity of Javal's rule in Hong Kong Chinese. *Curr Eye Res* 18: 83-90.
65. Pardhan S, Beesley J (1999) Measurement of corneal curvature in young and older normal subjects. *J Refract Surg* 15: 469-474.
66. Guirao A, Gonzalez C, Redondo M, Geraghty E, Norrby S, et al. (1999) Average optical performance of the human eye as a function of age in a normal population. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 40: 203-213.
67. Scholz K, Messner A, Eppig T, Bruenner H, Langenbucher A (2009) Topography-based assessment of anterior corneal curvature and asphericity as a function of age, sex, and refractive status. *J Cataract Refract Surg* 35: 1046-1054.
68. Mrochen M, Donitzky C, Wullner C, Löffler J (2004) Wavefront-optimized ablation profiles: theoretical background. *J Cataract Refract Surg* 30: 775-785.
69. Ang RE (2011) What is the relevance of asphericity in today's ophthalmic practice? *Philippine Journal of Ophthalmology* 36: 2.
70. Williams KM, Verhoeven VJ, Cumberland P, Bertelsen G, Wolfram C, et al. (2015) Prevalence of refractive error in Europe: the European Eye Epidemiology (E(3)) Consortium. *Eur J Epidemiol* 30: 305-315.

71. Netto ET, Gulin M, Zapparoli M, Moreira H (2013) Pacientes com astigmatismo submetidos à cirurgia de catarata: LIO tórica x LIO asférica? . Arq Bras Oftalmol 76: 4.
72. Budak K, Khater TT, Friedman NJ, Holladay JT, Koch DD (1999) Evaluation of relationships among refractive and topographic parameters. J Cataract Refract Surg 25: 814-820.
73. Wong HB, Machin D, Tan SB, Wong TY, Saw SM (2010) Ocular component growth curves among Singaporean children with different refractive error status. Invest Ophthalmol Vis Sci 51: 1341-1347.
74. Strang NC, Schmid KL, Carney LG (1998) Hyperopia is predominantly axial in nature. Curr Eye Res 17: 380-383.
75. Artal P, Berrio E, Guirao A, Piers P (2002) Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrations with age. J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis 19: 137-143.
76. Chen CC, Izadshenas A, Rana MA, Azar DT (2002) Corneal asphericity after hyperopic laser in situ keratomileusis. J Cataract Refract Surg 28: 1539-1545.
77. Rabinowitz YS (1998) Keratoconus. Surv Ophthalmol 42: 297-319.
78. Elias RM, Lipener C, Uras R, Paves L (2005) [Keratoconus: prognosis factors]. Arq Bras Oftalmol 68: 491-494.
79. Pinero DP, Alio JL, Barraquer RI, Michael R, Jimenez R (2010) Corneal biomechanics, refraction, and corneal aberrometry in keratoconus: an integrated study. Invest Ophthalmol Vis Sci 51: 1948-1955.

80. Karabatsas CH, Cook SD (1996) Topographic analysis in pellucid marginal corneal degeneration and keratoglobus. *Eye (Lond)* 10 ( Pt 4): 451-455.
81. Wilson SE, Lin DT, Klyce SD (1991) Corneal topography of keratoconus. *Cornea* 10: 2-8.
82. Maguire LJ, Bourne WM (1989) Corneal topography of early keratoconus. *Am J Ophthalmol* 108: 107-112.
83. Pinero DP, Alio JL, Aleson A, Escaf Vergara M, Miranda M (2010) Corneal volume, pachymetry, and correlation of anterior and posterior corneal shape in subclinical and different stages of clinical keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 36: 814-825.
84. Barbara A (2011) *Textbook on Keratoconus: New Insights*: Jaypee Brothers, Medical Publishers Pvt. Limited.
85. Tamayo GE, Serrano M (2004) Custom-Contoured Ablation Pattern Method for the Treatment of Irregular Astigmatism. In: Krueger RR, Applegate RA, MacRae SM, eds *Wavefront Customized Visual Correction: The Quest for super vision II* Thorofare: Slack Incorporated: 8.
86. Maeda N (2002) Evaluation of optical quality of corneas using corneal topographers. *Cornea* 21: S75-78.
87. Wang JY, Silva DE (1980) Wave-front interpretation with Zernike polynomials. *Appl Opt* 19: 1510-1518.
88. Bottos KM, Leite MT, Aventura-Isidro M, Bernabe-Ko J, Wongpitoonpiya N, et al. (2011) Corneal asphericity and spherical aberration after refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 37: 1109-1115.

89. González-Méijome JM, Jorge J, Queiros A, Almeida JB, Parafita MA (2004) A comparison of the ARK-700A autokeratometer and Medmont E300 corneal topographer when measuring peripheral corneal curvature. *Ophthalmic Physiol Opt* 24: 391-398.
90. Thibos LN, Wheeler W, Horner D (1994) A vector method for the analysis of astigmatic refractive errors. *Vision Science and Its Applications* 2: 14-17.
91. Thibos LN, Wheeler W, Horner D (1997) Power vectors: an application of Fourier analysis to the description and statistical analysis of refractive error. *Optom Vis Sci* 74: 367-375.
92. Bland JM, Altman DG (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1: 307-310.
93. Read SA, Collins MJ, Carney LG, Franklin RJ (2006) The topography of the central and peripheral cornea. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 47: 1404-1415.
94. Douthwaite WA, Hough T, Edwards K, Notay H (1999) The EyeSys videokeratoscopic assessment of apical radius and p-value in the normal human cornea. *Ophthalmic Physiol Opt* 19: 467-474.
95. Carney LG, Mainstone JC, Henderson BA (1997) Corneal topography and myopia. A cross-sectional study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 38: 311-320.
96. Kobashi H, Kamiya K, Igarashi A, Ishii R, Sato N, et al. (2012) Comparison of corneal power, corneal astigmatism, and axis location in normal eyes obtained from an autokeratometer and a corneal topographer. *J Cataract Refract Surg* 38: 648-654.

97. Yazdani N, Shahkarami L, OstadiMoghaddam H, Ehsaei A (2016) Topographic determination of corneal asphericity as a function of age, gender, and refractive error. *Int Ophthalmol*.
98. Matsuda LM, Woldorff CL, Kame RT, Hayashida JK (1992) Clinical comparison of corneal diameter and curvature in Asian eyes with those of Caucasian eyes. *Optom Vis Sci* 69: 51-54.
99. Kiely PM, Smith G, Carney LG (1984) Meridional variations of corneal shape. *Am J Optom Physiol Opt* 61: 619-626.
100. Goto T, Klyce SD, Zheng X, Maeda N, Kuroda T, et al. (2001) Gender- and age-related differences in corneal topography. *Cornea* 20: 270-276.
101. Jorge J, Almeida JB, Parafita MA (2007) Refractive, biometric and topographic changes among Portuguese university science students: a 3-year longitudinal study. *Ophthalmic Physiol Opt* 27: 287-294.
102. Gudmundsdottir E, Jonasson F, Jonsson V, Stefansson E, Sasaki H, et al. (2000) "With the rule" astigmatism is not the rule in the elderly. Reykjavik Eye Study: a population based study of refraction and visual acuity in citizens of Reykjavik 50 years and older. Iceland-Japan Co-Working Study Groups. *Acta Ophthalmol Scand* 78: 642-646.
103. Topuz H, Ozdemir M, Cinal A, Gumusalan Y (2004) Age-related differences in normal corneal topography. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 35: 298-303.



104. Fledelius HC, Stubgaard M (1986) Changes in refraction and corneal curvature during growth and adult life. A cross-sectional study. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 64: 487-491.
105. Li W, Hayashida Y, Chen YT, Tseng SC (2007) Niche regulation of corneal epithelial stem cells at the limbus. *Cell Res* 17: 26-36.
106. Sheridan M, Douthwaite WA (1989) Corneal asphericity and refractive error. *Ophthalmic Physiol Opt* 9: 235-238.
107. Chan KY, Cheung SW, Cho P (2012) Corneal parameters of six- to 12-year-old Chinese children. *Clin Exp Optom* 95: 160-165.
108. Zhang Z, Wang J, Niu W, Ma M, Jiang K, et al. (2011) Corneal asphericity and its related factors in 1052 Chinese subjects. *Optom Vis Sci* 88: 1232-1239.
109. Horner DG, Soni PS, Vyas N, Himebaugh NL (2000) Longitudinal changes in corneal asphericity in myopia. *Optom Vis Sci* 77: 198-203.
110. Lin LL, Shih YF, Lee YC, Hung PT, Hou PK (1996) Changes in ocular refraction and its components among medical students--a 5-year longitudinal study. *Optom Vis Sci* 73: 495-498.
111. Kinge B, Midelfart A, Jacobsen G, Rystad J (1999) Biometric changes in the eyes of Norwegian university students--a three-year longitudinal study. *Acta Ophthalmol Scand* 77: 648-652.
112. Kinge B, Midelfart A, Jacobsen G, Rystad J (2000) The influence of near-work on development of myopia among university students. A three-year longitudinal study among engineering students in Norway. *Acta Ophthalmol Scand* 78: 26-29.

113. Tokoro T, Kabe S (1964) [Relation between changes in the ocular refraction and refractive components and development of the myopia]. Nippon Ganka Gakkai Zasshi 68: 1240-1253.
114. Parssinen TO (1993) Corneal refraction and topography in school myopia. CLAO J 19: 69-72.
115. Hashemi H, Asgari S, Emamian MH, Mehravaran S, Fotouhi A (2015) Age-Related Changes in Corneal Curvature and Shape: The Shahroud Eye Cohort Study. Cornea 34: 1456-1458.